

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

## VLIV OBSAHU REGRANULÁTU NA VLASTNOSTI DÍLŮ Z POLYPROPYLENU

### THE INFLUENCE OF THE CONTENT OF REGRANULATE ON THE QUALITIES OF THE COMPONENTS FROM POLYPROPYLEN

Ondřej Konopáč

**KSP – TP – 833**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce:

#### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran	86
Počet tabulek	25
Počet příloh	5
Počet obrázků	66

**Datum: 28. 5. 2010**

## ANOTACE

### TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

#### Fakulta strojní

#### Katedra strojírenské technologie

#### Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství  
Diplomant: Ondřej Konopáč  
Téma práce: Vliv obsahu regranulátu na vlastnosti dílů z polypropylenu

The influence of the content of regranulate on the qualities of the components from polypropylen

Číslo DP: KSP – TP – 833  
Vedoucí DP: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*  
Konzultant DP:

#### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce hodnotí vliv přidávaného regranulátu na výsledné mechanické a reologické vlastnosti výrobku a to u třech vybraných polypropylenových materiálů, jenž jsou používány na výrobu interiérových dílů pro automobilový průmysl ve firmě Grupo Antolin Turnov s.r.o. Vlastnosti byly hodnoceny, jak u vstřikovaných dílů, tak i u dílů reálných.

#### **Abstract:**

This diploma thesis rates the influence of added regranulate on the resulting mechanical and reological qualities of a product practised on three polypropylen materials, which are used for producing interior components for the car industry in Grupo Antolin Turnov Ltd company. The qualities were rated by injected components as well as by real components.



**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. 5. 2010

.....

Ondřej Konopáč

Pelešeny 76

511 01 Turnov

### **Poděkování:**

Na začátku této diplomové práce bych rád touto cestou poděkoval firmě Grupo Antolin Turnov s.r.o, za ochotu a poskytnutí všech potřebných prostředků k vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Luboši Běhálkovi, za poskytnutí odborných rad a pomoc s vypracováním této diplomové práce.

## **OBSAH**

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>10</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Možnosti recyklace</b>	<b>16</b>
2.1.1 Materiálová recyklace	17
2.1.2 Chemická recyklace	18
2.1.3 Surovinová recyklace	20
2.1.4 Energetická recyklace	21
2.1.5 Shrnutí způsobů recyklace	21
<b>2.2 Třídění a zpracování odpadů</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Regranulační linka</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Granulace</b>	<b>26</b>
2.4.1 Granulace za studena	27
2.4.2 Granulace za tepla	28
<b>2.5 Způsoby (metody) organizované recyklace</b>	<b>30</b>
2.5.1 Podniková recyklace	30
2.5.2 Mezipodniková recyklace	34
<b>2.6 Směs základního polymeru s regranulátem</b>	<b>35</b>
<b>3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Charakteristiky měřených materiálů</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část</b>	<b>39</b>
<b>3.3 Výroba vstřikovaných zkušebních vzorků</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Výroba zkušebních vzorků z reálných dílů</b>	<b>42</b>
3.4.1 Odebrání zkušebních vzorků z reálných dílů	43
<b>3.5 Hodnocení fyzikálně-mechanických vlastností</b>	<b>45</b>
3.5.1 Hodnocení tahových vlastností	45
3.5.2 Hodnocení ohybových vlastností	50
3.5.3 Hodnocení vrubové houževnatosti	54
3.5.4 Hodnocení tvrdosti Shore D	59
3.5.5 Hodnocení reologických vlastností	62

<b>4</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUZE</b>	<b>66</b>
<b>4.1</b>	<b>Vyhodnocení mechanických vlastností</b>	<b>66</b>
4.1.1	Vyhodnocení tahových vlastností	66
4.1.2	Vyhodnocení ohybových vlastností	71
4.1.3	Vyhodnocení vrubové houževnatosti	75
4.1.4	Vyhodnocení tvrdosti Shore D	78
<b>4.2</b>	<b>Vyhodnocení reologických vlastností materiálu</b>	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>85</b>
	<b>PŘÍLOHY</b>	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$p$	[MPa]	tlak
$v$	[m/s]	rychlost
$a_{cA}$	[kJ.m <sup>-2</sup> ]	vrubová houževnatost Charpy (A-tvar vrubu)
$F$	[N]	síla
$A$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha příčného průřezu
$A$	[cm <sup>2</sup> ]	průměrný průřez pístu a válce
$\sigma$	[MPa]	napětí
$\sigma_M$	[MPa]	napětí na mezi pevnosti v tahu
$\sigma_Y$	[MPa]	napětí na mezi kluzu v tahu
$\sigma_f$	[MPa]	napětí v ohybu
$\sigma_{fM}$	[MPa]	napětí v ohybu na mezi pevnosti
$\sigma_{f1}$	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1}=0,0005\%$
$\sigma_{f2}$	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2}=0,0025\%$
$E_n$	[J]	nominální energie rázového kladiva
$E_C$	[J]	korigovaná energie spotřebovaná pro přeražení tělesa
$E_f$	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
$E$	[%]	poměrné prodloužení
$\varepsilon_{ty}$	[%]	jmenovité poměrné prodloužení na mezi kluzu
$\varepsilon_{tM}$	[%]	jmenovité poměrné prodloužení na mezi pevnosti
$\varepsilon_{tB}$	[%]	jmenovité poměrné prodloužení při přetržení
$\varepsilon_f$	[%]	deformace ohybem
$\varepsilon_{f1}$	[%]	deformace ohybem 0,0005%
$\varepsilon_{f2}$	[%]	deformace ohybem 0,0025%
$T$	[°C]	teplota
$T_{tm}$	[°C]	teplota temperačního média
$m_{nom}$	[kg]	nominální zatížení
$h$	[mm]	tloušťka zkušebního tělesa
$b_N$	[mm]	šířka zkušebního tělesa pod vrubem
$l$	[cm]	stanovená vzdálenost, kterou urazí píst
$b$	[mm]	šířka zkušebního vzorku
$\Delta L_0$	[mm]	zvětšení délky
$L_0$	[mm]	počáteční měřená délka
$t$	[s]	čas
$t$	[s]	průměrná hodnota jednotlivých měření času
$ts_1$	[s]	doba uzavření vstřikovací formy



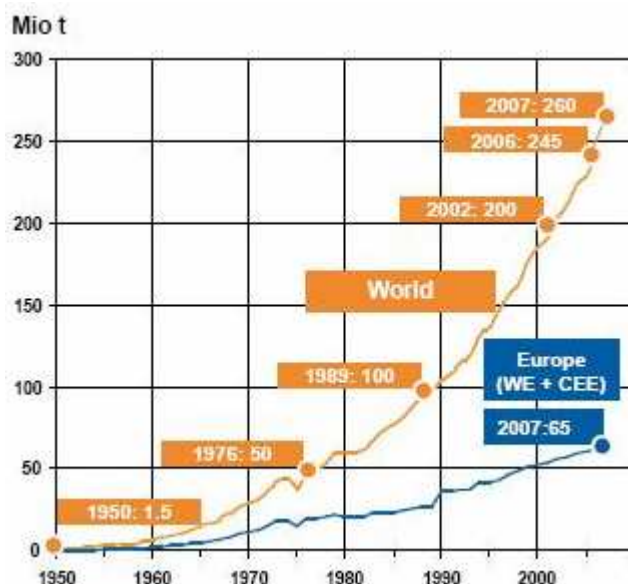
$ts_2$	[s]	doba přisunutí tavící komory k formě
$ts_3$	[s]	doba otevření vstřikovací formy
$ts$	[s]	celkový strojní čas ( $ts_1 + ts_2 + ts_3$ )
$t_v$	[s]	doba vstřikování
$t_{ch}$	[s]	doba chlazení
$t_d$	[s]	doba dotlaku
$t_{pl}$	[s]	doba plastikace
$t_m$	[s]	doba manipulace
$t_c$	[s]	celková doba vstřikování
$t_{ref}$	[s]	referenční čas
MVR	[cm <sup>3</sup> /10min]	objemový index toku taveniny
PET		polyethyléntereftalát
PBT		polybutyléntereftalát
PA		polyamid
PMMA		polymethylmetakrylát
PS		polystyren
PU		polyuretan
PVC		polvinylchlorid
PP		polypropylen

# 1 ÚVOD

Vznik plastů, neboli polymerních materiálů má počátky již v 19. století, kdy roku 1850 Angličan Alexander Parkes vynalezl první doposud známý plast, zvaný parkesin (tvrdá, pružná a průsvitná hmota). O dvacet let později tuto novinku zdokonalil Američan John Hyatt a této hmotě se začalo říkat celuloid. V roce 1907 pak Belgičan Leo Baekeland vynalezl bakelit. První plně syntetický plast, který byl vůbec prvním průmyslově vyráběným plastem na světě.

V následujících desetiletích pak plasty stále markantněji odhalovaly svůj obrovský inovační potenciál a to díky svým novým variantám a modifikacím i díky stálému zlepšování techniky zpracování.

Rozvoj plastů nemá v materiálové historii obdoby, snad by se dal přirovnat jen k dynamické výrobě oceli v období první průmyslové revoluce devatenáctého století. Dnes polymerní materiály představují nejvýznamnější část výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály a to díky svým výjimečným vlastnostem, jako např. menší měrnou hmotností než u klasických materiálů, dobrou zpracovatelností, chemickou odolností, životností a odolností proti stárnutí a ještě mnoha dalším. Díky těmto vlastnostem spotřeba plastů neustále narůstá [2]. Plasty pronikly do všech odvětví zpracovatelského průmyslu a to zejména do obalového, elektronického, elektrotechnického a automobilového průmyslu. Svoji roli hrají také i v leteckém průmyslu, kosmonautice a také ve zdravotnictví.



Obr. 1.1 Spotřeba plastů ve světě od roku 1950 [1]

S tímto pronikáním souvisí nárůst spotřeby plastů ve světě. Tato spotřeba má stoupající tendenci a to kolem 9 procent za rok, již od roku 1950. Z 1,5 miliónu tun v roce 1950, celková produkce plastů vzrostla na 260 miliónů tun v roce 2007 (viz. obr. 1.1) [1]. S touto rostoucí produkcí také souvisí stále častější otázka odpadů a jejich recyklace.

Recyklací plastů se obecně rozumí opětovné využití plastů odpadajících při výrobě (technologický odpad), i zbývajících po ukončení životnosti výrobků (komunální odpad). Při recyklaci plastů se využívá buď samotný materiál nebo energie v něm obsažená.

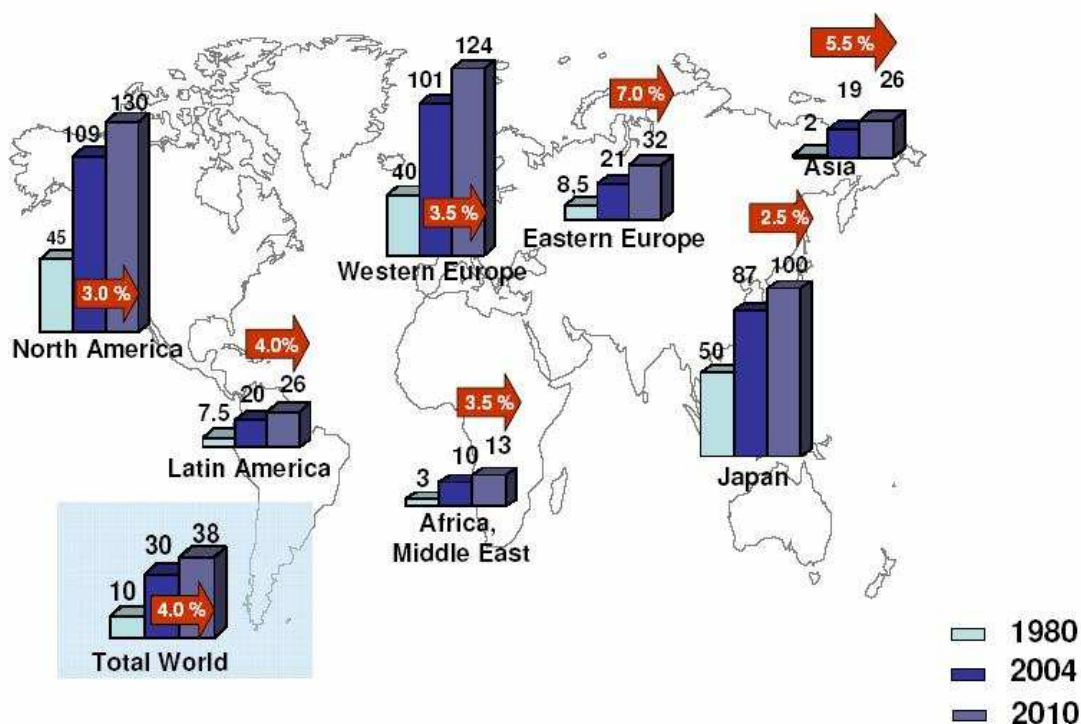
Dalo by se říci, že po technologické stránce je recyklace plastových odpadů vyřešena, ale problém nastává v logistice sběru a její ekonomické bilanci. Tady nastává problém při recyklaci použitých výrobků. Snazší, avšak ne až tak jednoduchou recyklací, je recyklace technologického odpadu, který vzniká při výrobě výrobků v podobě neshodných dílů nebo zbytků vtokových systémů. Tato recyklace spočívá v jejich rozdrčení, po kterém může následovat případná regranulace. Jak drt', tak regranulát se obvykle použije zpět do výroby. Tímto přidáváním regranulovaného materiálu, popřípadě drtě k základnímu materiálu se mohou měnit jeho technologické a užitné vlastnosti. Těmito změnami se pro dané materiály odborných publikacích zabývají mnohé studie, které popisují dané chování materiálu při určitém procentuálním zastoupení regranulátu.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit reologické a mechanické vlastnosti výstřiků v závislosti na procentuálním zastoupení regranulátu v základním materiálu pro vybrané polypropyleny z produkce firmy Grupo Antolin Turnov s.r.o. K experimentálnímu měření jsou vybrány tři typy polypropylenu, které se používají k výrobě interiérových dílů pro automobilový průmysl a u nichž je nejvyšší zmetkovitost. Celá práce vznikla na základě spolupráce katedry strojírenské technologie TU Liberec a firmy Grupo Antolin Turnov s.r.o, která se zabývá vstřikováním a tvarováním plastů.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

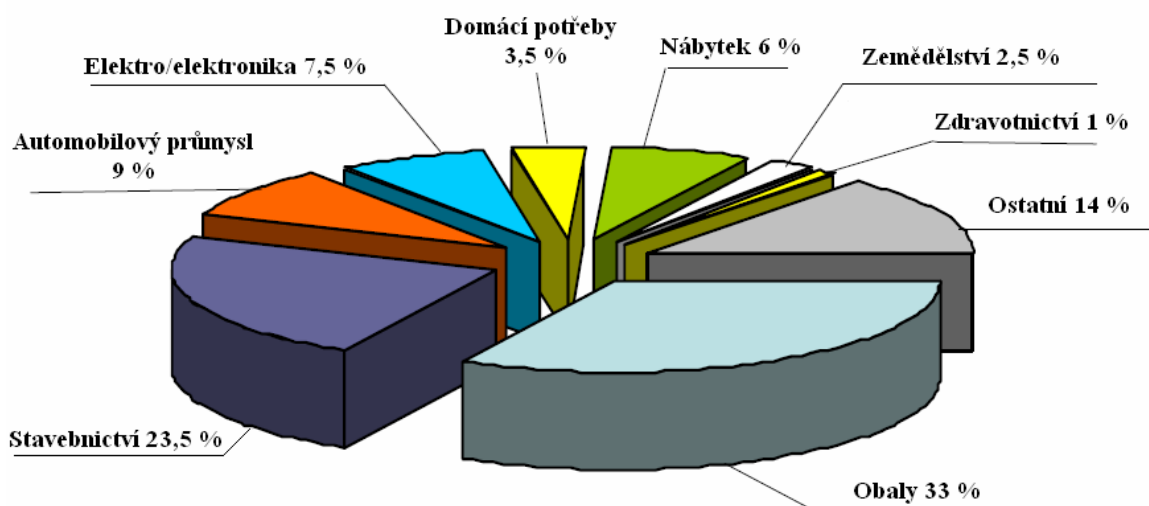
Materiály vždy zaujímaly významné postavení ve vývoji lidské společnosti. Mnohé epochy ve vývoji lidstva a techniky jsou pojmenovány podle materiálů, které výrazně posunuly vývoj civilizace kupředu - namátkou jmenujme dobu kamennou, dobu bronzovou či dobu železnou, vrcholící v 19. a 20. století. Pokud jde o začínající 21. století, mnozí odborníci zabývající se zákonitostmi vědeckotechnického a průmyslového pokroku zastávají názor, že půjde o století plastů [2].

Plasty již zaznamenaly velký nárůst ve druhé polovině 20. století. Dnes polymerní materiály, jako nejvýznamnější materiály 21. století patří k materiálům se zvyšujícím se trendem jejich použití (viz obr.2.1) [3]. Tento zvyšující se trend použití hledejme v samotných vlastnostech těchto materiálů, kterými mnohdy předčí i klasické materiály. Jedná se například o jejich nízkou hustotu, odolnost vůči korozi i chemickým účinkům, dobrou tepelnou a elektrickou izolační vlastnost a mnoho jiných.



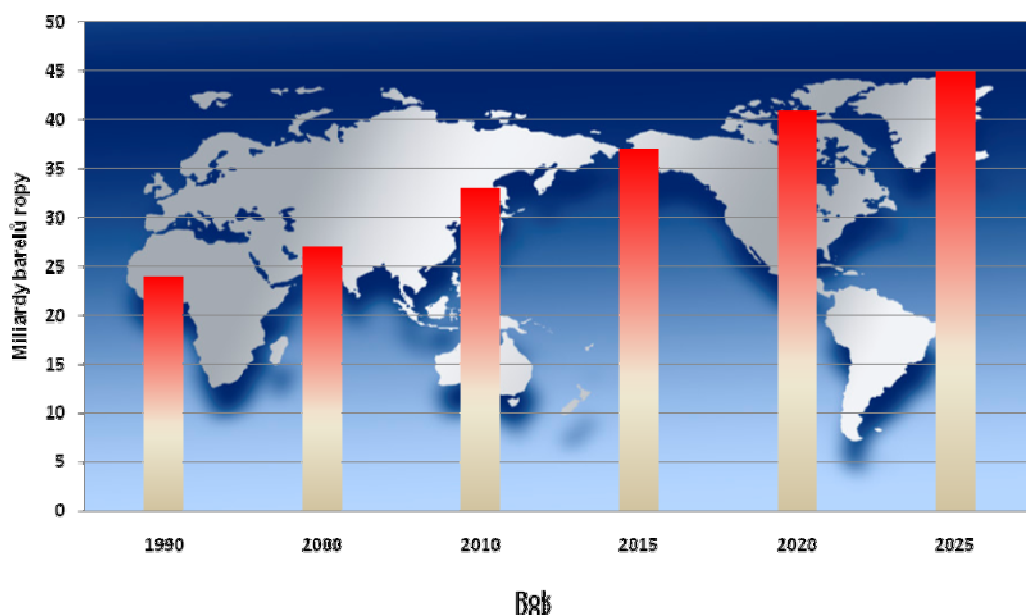
Obr. 2.1 Vývoj celosvětové spotřeby plastů na osobu od roku 1980 do roku 2004 s prognózou na rok 2010 [3]

Polymery jako nové, progresivní a konstrukční materiály specifických vlastností se snadno energeticky efektivně zpracovávají tepelným tvářením. Naprostá většina těchto polymerů se využije pro výrobu technických výrobků, o čemž svědčí i skutečnost, že se strojírenství podílí až jednou třetinou na spotřebě polymerních materiálů v průmyslově vyspělých zemích. Z obr. 2.2 [3] je patrné, že největší podíl na celosvětové spotřebě polymerních materiálů má obalová technika, stavebnictví, elektronika a automobilový průmysl, avšak to se v celkovém důsledku projevuje i v řadě problémů týkajících se odpadů, což má za následek i ekologický dopad na životní prostředí a pro samotné podniky ekonomickou zátěž.



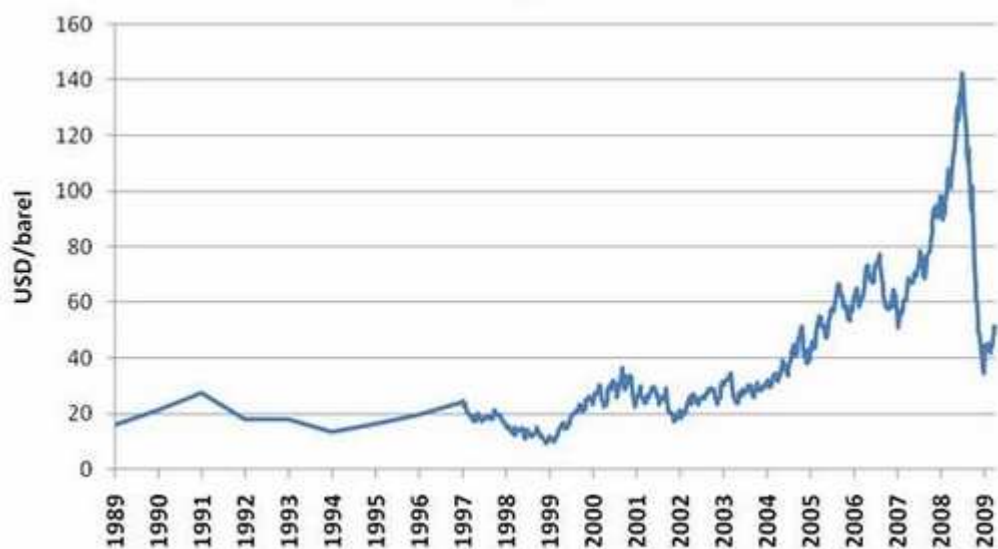
Obr. 2.2 Světová spotřeba plastů dle použití [3]

Snižující se zásoby železných rud a nedostatek jiných surovin vede k rostoucímu zájmu výrobců o využívání polymerů. Samotný rozvoj výroby i aplikace polymerních materiálů je podporován zatím dostatečnou surovinovou základnou, jenž je založena na ropě. Víme však, že žádné přírodní zdroje nejsou nevyčerpatelné. Na základě některých studií, zabývajících se spotřebou ropy (viz obr. 2.3) [4], by tato spotřeba měla pořád stoupat. S tím souvisí i budoucí vyčerpání těchto zásob.

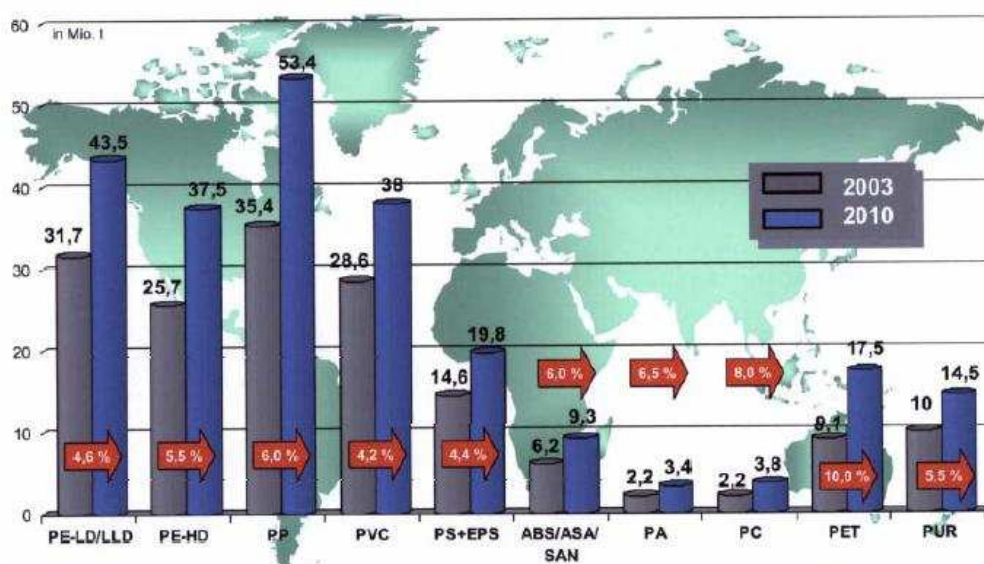


Obr. 2.3 Prognóza celosvětové spotřeby ropy [4]

Těžbou a vyčerpáním ropy i dalších fosilních paliv z dlouhodobého hlediska se zabývá tzv. teorie Hubertova zlomu, známá jako ropný zlom. Některé teorie na základě dostupných dat o těžbě předpovídaly zlom na rok 1989, 1995 či rok 2000. Podle asociace pro studium ropného zlomu (ASPO) nastal tento zlom v roce 2007. Tato teorie má také své kritiky, kteří poukazují na skutečnost, že tato teorie prakticky nebere v úvahu nekonvenční ropy (ropa získávaná jinými než tradičními těžebními metodami), a nepočítá s velkými utajovanými zdroji ropy, podle těchto názorů se svět ropnému zlomu zdaleka ještě nepřiblížil [7]. Ať už tento zlom nastal či nastane je potřeba s tím počítat. Z toho důvodu svět uvažuje i o jiných alternativních způsobech získávání polymerního materiálu a současně řeší a zdokonaluje problematiku opětovného využití polymerního odpadu. K zamyšlení se nad možností využití recyklace k výrobě nových polymerních dílů jsou výrobci nuceni stále více v důsledku požadavku na snížení nákladů spojených s výrobou polymerního dílu, případně snížení podílu základního materiálu při jeho výrobě, neboť vývojový trend cen základního materiálu má stále stoupající tendenci, jenž je zapříčiněn stoupající cenou ropy (viz obr. 2.4) [6] a také velkým zájmem o výrobky z polymerních materiálů, což vyplývá z dostupných prognóz světové spotřeby plastů (viz obr. 2.5) [5].



Obr. 2.4 Vývoj cen ropy od roku 1989 do 2009 [6]

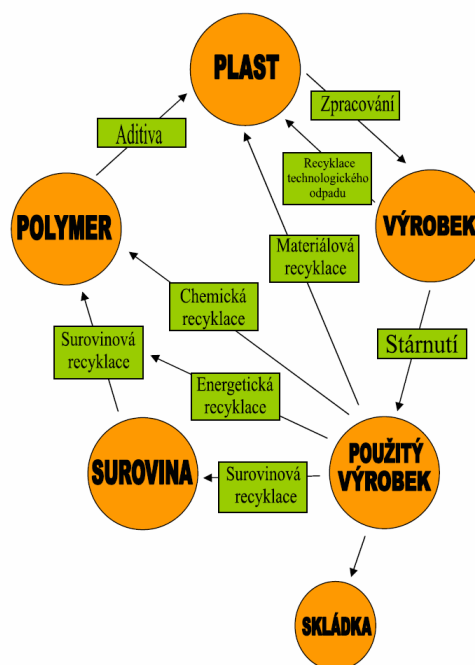


Obr. 2.5 Světová spotřeba jednotlivých typů plastů v roce 2003 s prognózou do roku 2010 [5]

## 2.1 Možnosti recyklace

Při samotné výrobě polymerních dílů dochází ke vzniku technologického odpadu, což jsou neshodné výrobky, přetoky, vtokové soustavy při vstřikování apod. Opětovné zpracování technologického odpadu spočívá v jeho rozdrčení a případně v následné regranulaci. Drť i regranulát se použije zpět do výroby. V odborné literatuře se uvádí, že přidání 5% - 15% takového materiálu by nemělo ovlivnit mechanické vlastnosti konečného výrobku. Ovšem v polymerním materiálu může dojít při jeho zpracování (vlivem zpracovatelských podmínek) k degradaci, která může způsobovat problémy s jeho opětovným zpracováním. Také při používání plastových dílů během jejich aplikace dochází k nežádoucím změnám způsobených vlivem vnějších faktorů, mezi které lze zařadit teplo, světlo či mechanické zatížení, které mají za následek stárnutí plastů a změnu jeho původních vlastností. Také tyto procesy stárnutí výrobků mohou v konečném důsledku zabránit jeho opětovnému použití, neboť by se nedosáhlo požadovaných vlastností u nových výrobků z recyklovaného materiálu. V neposlední řadě je nutné zmínit i možnou kontaminaci materiálu nečistotami. S ohledem na tuto skutečnost je potřeba důsledně dbát na třídění plastového odpadu (a to i technologického), které je předpokladem jeho kvalitního zhodnocení.

Recyklace, čili opětovné využití je zcela obecně vzato postup, kterým se dospěje k využití energie a materiálové podstaty výrobku po ukončení jeho životnosti. Z toho vyplývá, že nejvyšší ekonomický efekt přináší recyklace výrobků obsahujících materiály s velkým rozdílem mezi energetickými



Obr. 2.6 Recyklační cyklus [8]



nároky na jejich výrobu a energetickou náročností jejich opětovného přepracování. U polymerních výrobků existují čtyři základní způsoby recyklace (viz obr. 2.6) [8]:

- Materiálová recyklace
- Chemická recyklace
- Surovinová recyklace
- Energetická recyklace

### **2.1.1 Materiálová recyklace**

Pro co nejúčinnější využití surovinového a energetického vkladu do základního polymerního materiálu je předurčena materiálová (nebo též fyzikální) recyklace. Materiálová recyklace zahrnuje postupy spočívající v mletí upotřebených výrobků za vzniku drtě. Pokud se jedná o kontaminovaný odpad, je nezbytné zařadit do procesu i mytí, popřípadě plavení drtě. Poté následuje sušení a případná regranulace. Drtě a regranuláty se používají podle svého složení a znečištění na výrobu méně náročných výrobků, nebo je přidáváme k základnímu plastu a opětovně zpracovávat na kvalitní výrobek. Tento způsob recyklace je zvláště vhodný pro termoplasty. Zahrnuje procesy od nejjednoduššího mletí upotřebených výrobků a následně tepelně mechanické zpracování meliva pro výrobu nových výrobků, až po kompatibilizační postupy v tavenině sloužící k přípravě vícesložkových materiálů ze směsí odpadních plastů. Obecně je materiálová recyklace založena na dodávce tepelné a mechanické energie a aditiv (stabilizátorů, barviv, případně i plniv) pro přetvoření odpadní suroviny na nový materiál s mechanickými i estetickými vlastnostmi blízkými základnímu polymeru. Může-li recyklát v dané aplikační oblasti nahradit hodnotný základní plast, tedy má-li požadovanou jakost, je ekonomická bilance této recyklace příznivá. Na operace čištění, separace cizích látek a zdrojů kontaminace, mletí a přetavení se spotřebuje přibližně 15% ekvivalentní energie základního materiálu. Ekonomický efekt recyklace se však strmě snižuje s omezováním praktického uplatnění recyklátu v důsledku jeho nižší kvality. Kvalita recyklátu je silně závislá na charakteru vstupní suroviny. Pravděpodobnost získání kvalitního recyklátu klesá v řadě:

- Typově tříděná vstupní surovina
- Druhově tříděná vstupní surovina
- Částečně tříděná vstupní surovina
- Netříděná surovina

Typem je myšleno označení polymeru obchodním názvem se zakódovanými vlastnostmi, aplikačními vlastnostmi a zpracovatelností. Druhově třídění polymerů se rozděluje dle chemického složení a molekulární struktury. Recyklace typově nebo druhově tříděného plastového odpadu je poměrně široce využívána již v závodech pro výrobu a zpracování plastů při zhodnocení tzv. technologického odpadu. Tento typ odpadní suroviny je obvykle složen z materiálu odpadajícího při výrobním nebo zpracovatelském procesu, např. z granulátu nestandardních rozměrů, vtokových systémů, ořezů hran a výrobků vyřazených při výstupní kontrole. Tato odpadní surovina, jak již bylo řečeno je v nejjednodušším případě pouze rozezlata, obvykle je však znovu granulována. Získaný recyklát je pak přidáván k základnímu polymeru a opětovně zpracován na konečný výrobek. Odpadní plasty pocházející z komunálního sběru, jsou však obvykle netříděné. Pro zpracování směsného plastového odpadu se často využívá pro tento účel vyvinuté technologie „down-cycling“. Jedná se o míchání směsi plastů v tavenině ve speciálním extruderu s vysokou hnětací účinností a bezprostředním vytlačováním taveniny do formy. Výhodou tohoto způsobu zpracování odpadních směsí je, že lze poměrně snadno získat i výrobky o poměrně velkém objemu. Nevýhodou jsou však nepříliš dobré mechanické vlastnosti finálního recyklátu, který tak může v aplikacích konkurovat pouze levným druhům dřeva nebo betonu. Ekonomická bilance tohoto způsobu recyklace se často pohybuje na samé hranici rentability [8], [9].

### **2.1.2 Chemická recyklace**

Materiálová recyklace není racionálně využitelná pro všechny druhy vstupní suroviny. Některé polymery jsou ze své podstaty zvláště náchylné k degradaci při opakovaném zpracování, což komplikuje jednak samotné technologické provedení recyklace a jednak významně zhoršuje kvalitu recyklátu. Dalším faktorem

komplikující využití materiálové recyklace je požadavek na poměrně vysokou čistotu vstupní suroviny. V takových případech může být racionálním východiskem chemická recyklace. Chemickou recyklaci používáme u materiálů, u kterých nelze použít materiálovou recyklaci. Jedná se o materiály náchylné k degradaci při opakovaném zpracování či materiály, kde nelze zajistit vysokou čistotu vstupní suroviny. Samotná chemická recyklace je založena na chemickém rozkladu polymeru na produkty o podstatně nižší molární hmotnosti (oligomery) nebo až na monomerní jednotky a dalším chemickém zpracování takto získané suroviny. Největší výhodou této recyklace, jsou nízké nároky na čistotu vstupní suroviny. Naproti tomu se však nevýhodou stávají poměrně vysoké investiční náklady na technologické zařízení a praktická uskutečnitelnost je pouze v podmínkách chemického průmyslu ve spojení s již existujícími procesy.

Nejjednodušším případem chemické recyklace je tepelná depolymerace, kdy při vysokých teplotách polymery degradují a z konců polymerních řetězců se postupně odštěpují monomerní jednotky. Tímto způsobem jsou depolymerovány např. polystyrén (PS) nebo polymethylmethakrylát (PMMA). Získané monomery je možné po vyčištění bez zvláštních problémů opět polymerovat na panenský polymer původní kvality. V současné době je tento proces v omezené míře využíván pro recyklaci polymethylmethakrylátového organického skla. Poměrně malá spotřeba tohoto materiálu, a teda i jeho plastového odpadu nevede k rozšiřování tohoto recyklačního postupu.

Většího praktického významu doznaly procesy založené na rozkladu polykondenzátů účinkem vybraných nízkomolekulárních látek, souhrnně označované jako solvolýza. Tímto způsobem je možné recyklovat materiály na bázi polyamidů (PA), polyuretanů (PU) a zvláště pak lineárních polyesterů, např. polyethyléntereftalátu (PET) a polybutyléntereftalátu (PBT). Podstatou solvolytického rozkladu je obrácení vratné polykondenzační reakce směrem k odbourávání monomerních jednotek z řetězců polymeru. Stále většího praktického významu pak nabývá tento postup pro recyklaci PET, hlavně v souvislosti se stále se zvyšujícím objemem odpadního PET z nápojových lahví [8], [9].

### 2.1.3 Surovinová recyklace

Surovinová recyklace se používá na silně znečištěné směsi různorodých plastových složek, z nichž není prakticky možné získat materiálovou recyklací kvalitní materiál, než vlastní surovinovou bázi. Principem surovinové recyklace jsou termicky destrukční procesy rozkládající polymerní složky vstupní suroviny na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Výstupními produkty surovinové recyklace jsou tedy energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků využitelných jako topné oleje, nebo jako petrochemická surovina. Hlavní předností surovinové recyklace jsou nízké nároky na kvalitu vstupního polymeru a širokou využitelnost vzniklého syntetického plynu v chemickém průmyslu. Surovinové zhodnocení odpadních plastů může být provedeno chemickým postupem hydrogenace (vysokotlaký katalytický proces) nebo pyrolýzy (nízkotlaký proces, vyšší teplota). Produktem hydrogenačních procesů jsou převážně kapalná uhlovodíka, pyrolýzní procesy pak vedou k plyným produktům a koksu. Firma Shell pak vyvinula originální postup přeměny plastového vstupu na syntézní plyn (směs oxidu uhelnatého a vodíku). Technologicky i ekonomicky jsou výhodné postupy založené na společném zpracování odpadních plastů s uhlím. Při tomto zpracování se využívá schopnosti uhlí předávat vodík. Společné zpracování uhlí a odpadních plastů umožňuje využít následujících postupů:

- společná pyrolýza
- společné zplynění
- společné zkapalnění

Z uvedených postupů je nejméně náročná na investice do technologického zařízení společná pyrolýza plastové odpadní suroviny s uhlím. Touto cestou lze získat kromě plyných produktů, které jsou zužitkovány při krytí energetických nároků procesu a poměrně nízkého podílu kapalných produktů hlavně koks, který se vyznačuje zvláště velkým specifickým povrchem. Praktickými zkouškami bylo prokázáno, že takto vyrobený koks má velmi vysoké adsorpční účinky a je zvláště vhodný pro čištění odpadních vod a vzduchu.

Za nejnadějnější se dnes považuje společné zkapalnění, i když je to investičně nejnákladnější technologie. Produkuje však převahu nasycených uhlovodíků, v podstatě lehkou syntetickou ropu.

Nutno také podotknout, že se přístup k využití odpadních plastů v různých zemích se liší [8], [9].

## **2.1.4 Energetická recyklace**

Posledním způsobem recyklace je energetické využití jinak nevyužitelného plastového odpadu. Samotnou podstatou metody je spalování (obvykle společně s uhlím) ve speciálně navržených topeništích. Užitečným výstupem je pak tepelná energie. Možnosti vzniku toxických plynných produktů při spalování plastů například dioxinů se předchází vhodně navrženým topeništěm a technologickými podmínkami. Ekologicky závadné produkty spalování, vznikající zejména z PVC, polyamidů, polyuretanů a pryží, jsou ze směsi spalin vhodně neutralizovány převedením na pevnou formu (např. chlorovodík uvolněný spalováním PVC je vázán do tuhého chloridu vápenatého, síra z pryží na inertní síran vápenatý sádra do stavebnictví a oxidy dusíku z polyamidů jsou převedeny na nezávadné dusíkaté soli [9].

## **2.1.5 Shrnutí způsobů recyklace**

Shrneme-li možnosti recyklace plastového odpadu v podmínkách plastikářských firem, můžeme doporučit v podstatě jen jedinou metodu, totiž materiálovou recyklaci. Ve většině plastikářských provozů nalezneme drtiče technologického odpadu, které vrací drtě zpět do zpracovatelského pochodu. Je to pochopitelné, uvědomíme-li si vysokou cenu vstupního plastu. Některé z firem tyto drtě prodávají, zejména tehdy, není-li možné z hygienických důvodů technologický odpad opětovně použít.

Na českém trhu je v současnosti mnoho firem, které se zabývají recyklací plastového odpadu z mnoha velmi rozličných zdrojů. Jsou to firmy, které se vzrůstající měrou podílejí na těchto způsobech recyklace. Náplní práce těchto firem

je hlavně nabídka výroby a prodeje drtí a regranulátů z různých zdrojů příjmu odpadního materiálu [9].

## 2.2 Třídění a zpracování odpadů

Požadavky spojené s primárními surovinovými zdroji (např. cenou nebo množstvím) lze snížit zavedením bezodpadových technologií spočívajících ve zpětném navrácení odpadu do výroby. Hlavním důvodem, který vede výrobce k zpracování odpadu a recyklaci neshodných výrobků je v prvé řadě vysoká cena plastů. Samotnému zpracování odpadu musí předcházet pečlivé roztrídění dle druhu a odstranění cizího materiálu, aby nemohlo dojít ke kontaminaci. V odlišném případě je nutno najít jiný způsob likvidace polymerního odpadu. Přistoupíme-li k samotné výrobě, je možné rozdělit odpad na technologický a užitný. Do technologického odpadu spadají vtoky, přetoky, rozváděcí kanály, odstříky aj. V zájmu každého výrobce by mělo být vrácení tohoto odpadu zpět do výroby, jako vstupního materiálu, s ohledem na energetickou náročnost výroby polymerů (na 1t plastu se spotřebuje 2,5t ropy). Tato kategorie odpadu poskytuje relativně hodnotný materiál, jenž je srovnatelný s doposud nezpracovaným materiálem. Užitný odpad zahrnuje naopak výrobky po uplynutí své funkční doby. V této kategorii se vyskytují polymery více či méně znehodnoceny stárnutím a kontaminací.

Vlastní zpracování odpadu lze rozdělit dle stupně kontaminace:

- čistý tříděný odpad vznikající přímo při zpracování
- znečištěný tříděný odpad
- čistý netříděný odpad
- znečištěný netříděný odpad

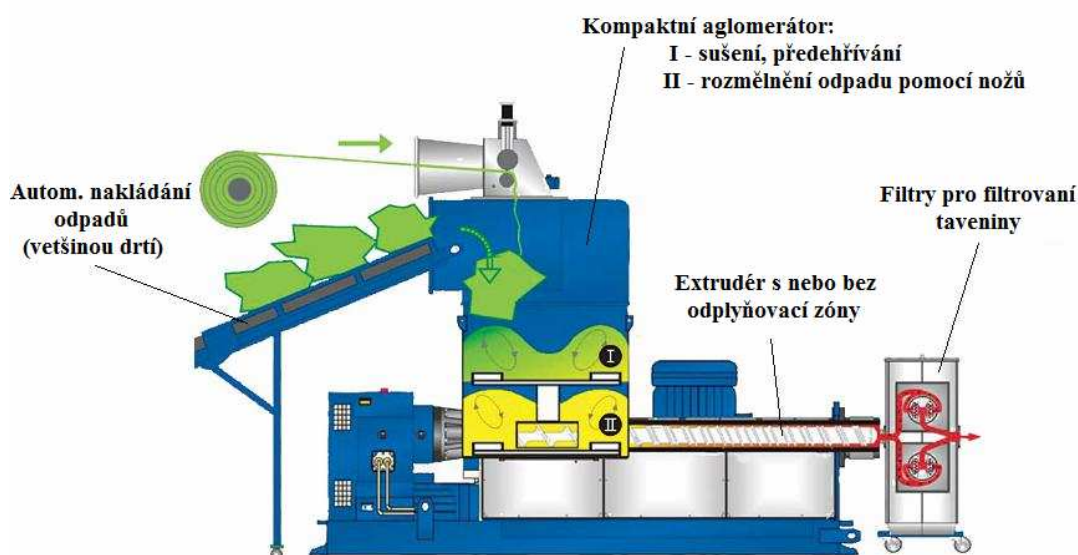
Nezbytným předpokladem pro účelné využití polymerního odpadu je po technologické i ekonomické stránce dobrá znalost výroby a zpracování výrobku. Je potřebné si uvědomit původ odpadu a zda byl materiál jen drcený či drcený a následně regranulovaný. Používání drceného polymerního odpadu (drtě) k opětovnému zpracování je výhodné u tepelně citlivých materiálů, jelikož nedochází k dalšímu tepelnému namáhání při regranulaci. Nevýhodou je však stálá rozdílná velikost drcených nebo mletých částic a zvýšený prachový podíl v drti. Regranulát je možné použít tam, kde nedochází k ovlivnění požadovaných vlastností materiálu

předchozím tepelným namáháním. Z pohledu tvaru vstupních částic je regranulát ekvivalentní k původnímu materiálu, avšak vyžaduje dokonalé vysušení namletého odpadu a je značně energeticky náročný.

V současné době jsou pro zpracování polymerního materiálu k dispozici zařízení umožňující zpracování odpadu na recyklát (regenerát) nebo regranulát v požadované kvalitě za přijatelné náklady, tj. mlýny regranulační linky, manipulátory, mísiče apod. (viz kap. 2.3) [10], [11].

## 2.3 Regranulační linka

Regranulační linka je jedním ze zařízení, které dokáže zpracovávat odpad na recyklát, resp. regenerát a v konečné fázi na regranulát za přijatelné náklady a ve vyhovující kvalitě. Regranulační linky se skládají z několika fází procesů a toto složení je v první řadě závislé na typu používaného odpadu. Tím je myšleno zda vstupním materiálem je odpad technologický či odpad užitný. U regranulační linky



Obr. 2.7 Schéma regranulační linky bez peletizéru a vany [12]

zpracovávající technologický odpad (viz obr. 2.7), který se skládá z relativně čistého odpadu, jež vzniká při samotném zpracování (přetoky, vtoky, rozváděcí kanály, vadné výrobky, aj.), je první proces tvořen mletím a drcením odpadu. Tento proces spočívá v rozmělnění odpadu na menší části. Postup, při němž je materiál rozmělněn na prášek, je nazýván většinou mletím, drcením jsou získávány větší částice (tj. drtě). V praxi není význam mezi mletím a drcením významný, proto dochází k častému zaměňování těchto pojmů. K mletí (drcení) je využíváno tlaku, řezu či smyku, přičemž síla může působit klidně, resp. nárazem. Pro volbu způsobu mletí (drcení) jsou důležité fyzikální vlastnosti mletého materiálu, čili tvrdost a charakter lomu, jakožto i cíl, jehož chceme dosáhnout (např. tvrdý materiál se lépe rozmělní nárazem). K mletí (drcení) se používají různé druhy mlýnů a to např. nožový, kladivový či talířový. Nejčastěji používaný je nožový mlýn (viz obr. 2.8) [13]. Princip mletí na tomto mlýnu spočívá ve stříhání materiálu pracovními nástroji (noži) uloženými radiálně na statoru i přímo na rotoru stroje. Velikost a tvar výsledné drtě je dána velikostí otvorů v sítu, jež je umístěno pod pracovní dráhou rotoru. Tyto mlýny fungují buď samostatně, a to jako stroje pouze k drcení materiálu či jsou součástí regnulační linky, kde je materiál nadrcen a přímo dávkován do extrudéru jako je tomu na obr 2.7.



Obr. 2.8 Nožový mlýn včetně nožových rotorů s různým uspořádáním nožů [13]



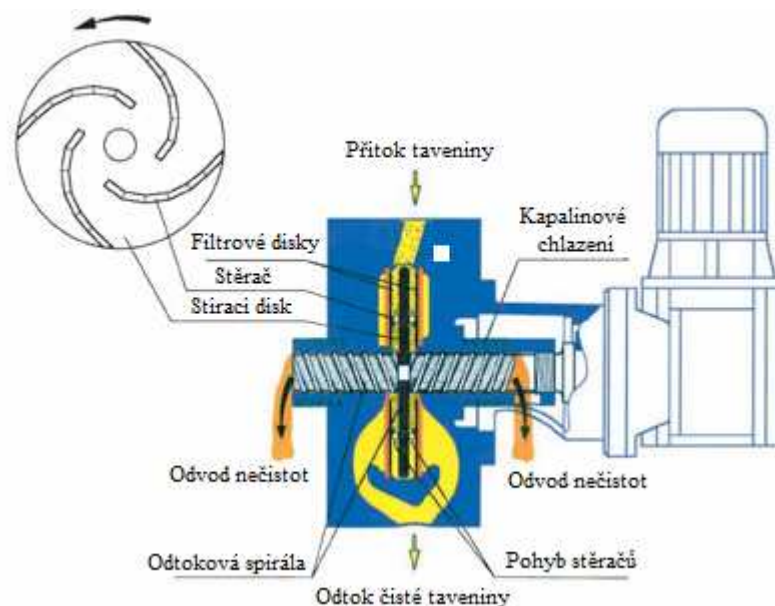
Dalším procesem následujícím po drcení je proces, kdy je nadrcený materiál dávkován do extrudéru, kde je plastifikován a následně homogenizován. Dále se provádí filtrace taveniny, kdy různé typy filtrů slouží k zbavení taveniny nežádoucích mechanických nečistot. Pro filtraci se používají různé typy filtrů, avšak jejich interval použití je krátký a tudíž musejí být často měněny, což je neekonomické.

S revolučním řešením přišla na trh firma EREMA (firma zabývající se výrobou regranulačních linek a technologiemi s tím souvisejícími), která vyvinula tzv. LASEROVÝ FILTR (viz obr. 2.9). Tento filtr je vyroben z tvrzené oceli a je tvořen nepatrnými kónickými otvory o průměru zhruba 100  $\mu\text{m}$  v počtu přibližně jednoho miliónu na disk. Systém je tvořen v podstatě dvěma filtračními disky, kterými je protlačována tavenina přes jemné kónické otvory filtru z úzkého do rozšířeného průřezu. Větší částice kontaminantů, které neprojdou otvory laserového síta zůstanou na povrchu ocelového disku a jsou kontinuálně seškrabávány rotujícími noži, které je dopravují do dvou symetricky uspořádaných šroubů, které je vynesou mimo. Schéma je zřejmé z obrázku 2.10 [12]. Tyto šrouby dopraví nečistoty ve stlačeném stavu mimo skříň filtru. Výhodou tohoto filtru je také extrémně dlouhý interval výměny síta mezi 300 až 1000 hodinami provozu, takže extrudery mohou být v automatickém provozu prakticky non-stop po několik týdnů, bez potřeby zásahu operátora.

Dalším a posledním procesem výroby regranulátu je již samotné granulování.



Obr. 2.9 Laserový filtr [12]



Obr. 2.10 Schéma funkce laserového filtru EREMA [12]

U regranulační linky zpracovávající užitný odpad je postup procesů stejný jako u linky zpracovávající technologický odpad, až na proces mytí a sušení. U zpracování užitného odpadu je tento proces nezbytný k odstranění nežádoucích nečistot. Samotný proces mytí a sušení následuje hned po drcení materiálu. Po dokonalém vysušení pomocí horkého vzduchu nebo vakuových sušiček je materiál dávkován do extrudéru, kde je plastifikován a homogenizován. Podle druhu zpracovávaného plastu následuje buď odplynění, či máme proces bez odplynění. Nakonec materiál filtrujeme a granulujeme.

## 2.4 Granulace

Posledním krokem při zpracování technologického odpadu, pokud chceme získat regranulát, je granulace, jejíž výsledný materiál má tvar granulí vhodných pro další zpracování. Z praktického hlediska je žádoucí, aby v procesu vstřikovávání plastových dílů došlo v plastikační komoře stroje k rovnoměrnému prohřátí částic materiálu a tavenina byla homogenní. Lze předpokládat, že by nestejně velké velikosti částic drtě měly negativní vliv na homogenitu taveniny v důsledku nerovnoměrného

prohřátí materiálu a tím docházelo k ovlivňování mechanických vlastností výlisku. Proto je vhodné, aby jako vstupní materiál namísto drtě (viz obr. 2.11), kdy velikost částic není vždy stejná bylo používáno regranulátu (viz obr. 2.12) se stejnou velikostí.



Obr. 2.11 Drť recyklátu

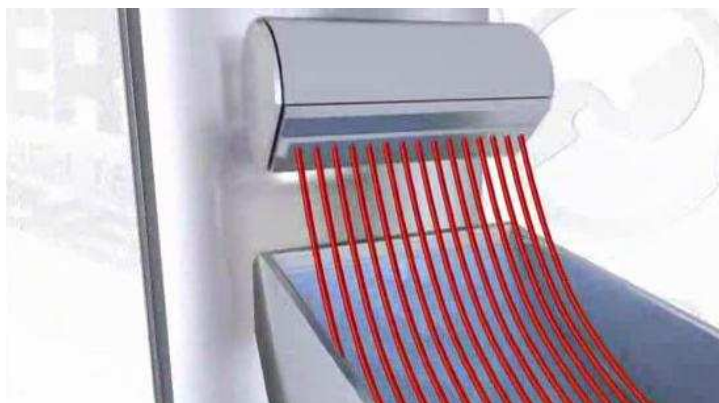


Obr. 2.12 Regranulát

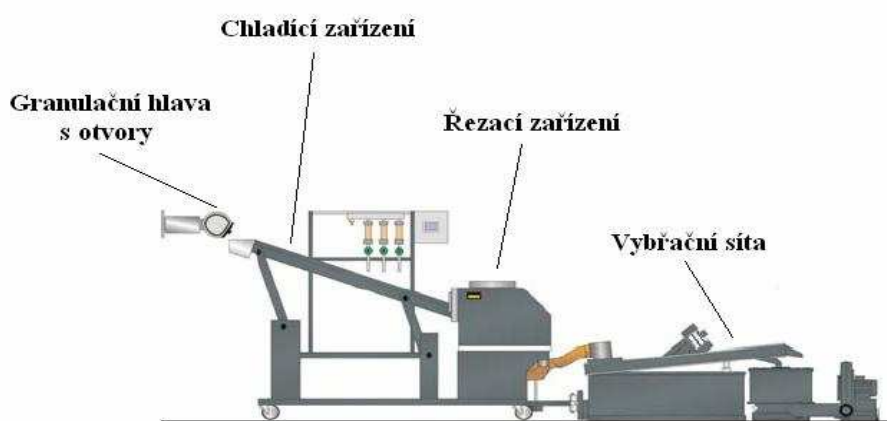
Přednost granulí obecně spočívá v nenáročném míchání, např. s jinými materiály či barvivy a v jejich nízké sypné hmotnosti, což vede k dobrému dávkování. Mezi běžné tvary granulátu patří kuličky, krychličky, čocky a válečky. Výběr granulační metody závisí na reologických vlastnostech zpracovávané taveniny, na prostoru, který je k dispozici pro granulační zařízení, na předpokládaných výkonnostech zařízení, na ekonomických požadavcích apod.

### 2.4.1 Granulace za studena

Při granulaci za studena jsou struny vytlačené granulační hlavou s mnoha otvory ochlazeny ve vodní lázni (viz obr. 2.13) [12] a po odstranění přebytečné vody pomocí sušícího zařízení jsou kolmo rotujícími noži sekány na válečky. Tento granulát je násypkou nasměrován na síta vibračního zařízení pro vyloučení nepořezaných vláken a granulí o nevyhovujících rozměrech. Tento celý cyklus je patrný z obr. 2.14 [12].



Obr. 2.13 Granulační hlava s mnoha otvory [12]



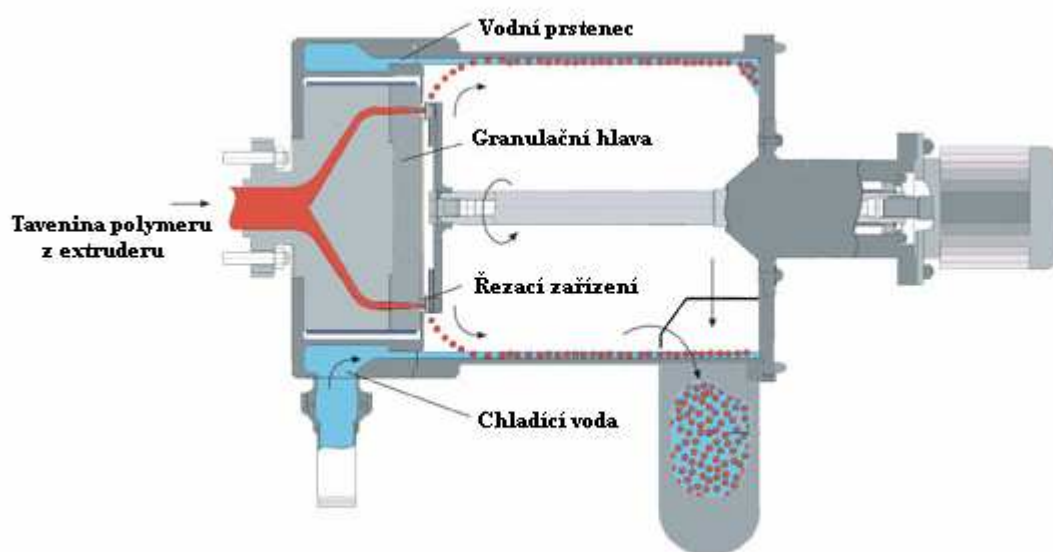
Obr. 2.14 Schéma cyklu granulace za studena [12]

Nevýhodou této metody je obtížné zvládnutí mnoha vytlačovaných strun v granulačním zařízení. Struny se před ochlazením mohou slepovat, popř. po nadměrném ochlazení se mohou lámat. Se vzrůstajícím počtem strun jsou potíže větší, a proto se tato metoda používá pouze do výkonnosti  $2000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ .

## 2.4.2 Granulace za tepla

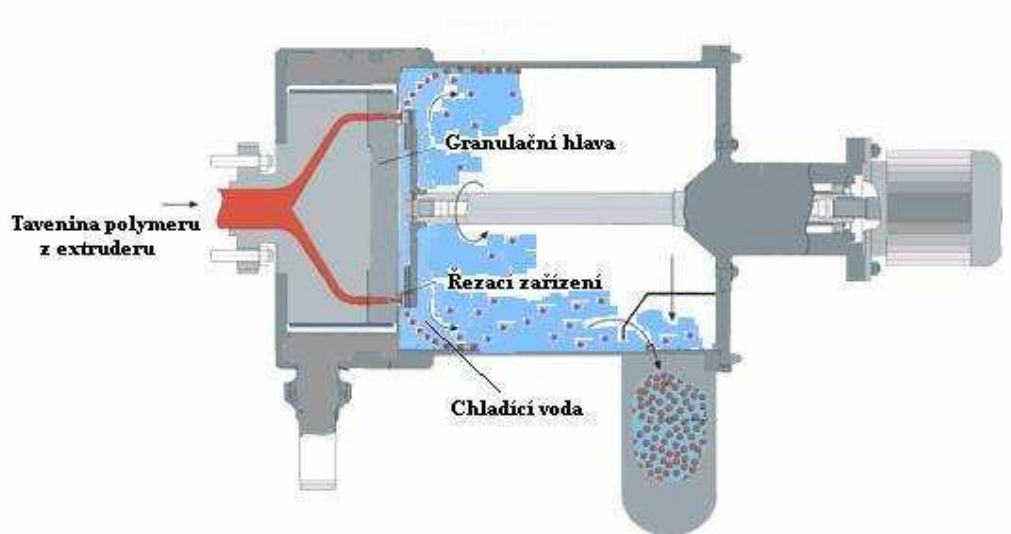
Při granulaci za tepla (za horka) jsou granule seřezávány přímo z čela granulační hlavy s mnoha otvory za pomoci nožového řezacího zařízení. Pro tento způsob granulace nejsou vhodné polymery s velmi nízkou viskozitou taveniny. Mezi dvě

nejčastější metody patří suchá granulace za horka a horká granulace pod vodou. Při suché granulaci za horka je roztavený polymer vystupující z otvorů hlavy řezán bezprostředně za sucha. Nožové řezací zařízení umístěné nad hlavou se otáčí velkou rychlostí a odhazuje odříznuté granule od čela hlavy. Odseknuté granule postupují ve směru vodního prstence chladicí komorou. Voda je chladí a zároveň transportuje speciálním kanálem, který má vstupní prostor pro oddělení vody a vstupní místo do odstředivé sušičky. Tento proces je patrný z obr. 2.15 [12].



Obr. 2.15 Schéma systému suché granulace za horka [12]

Granulace pod vodou se používá především pro polymery, které mají při granulaci za horka tendenci se roztírat, popř. lpět na nožích, tedy polymery s nízkou viskozitou. I v tomto případě jsou struny seřezávány rotujícími noži z čela hlavy, jsou však bezprostředně chlazeny vodou, která intenzivně chladí vzniklé granule, ale také i nože, a proto lze touto metodou bezpečně granulovat nízkoviskózní i lepidlové polymery. Tento proces je patrný z obr. 2.16 [12].



Obr. 2.16 Schéma systému horké granulace pod vodou [12]

## 2.5 Způsoby (metody) organizované recyklace

Výrobní postupy určené ke zpracování polymerního odpadu vedou k vytvoření řetězce postupů, jež spolu nemusí často místně ani časově souviset. Účelně lze rozeznat dvě základní formy organizované recyklace technologických odpadů:

- podnikovou recyklaci
- mezipodnikovou recyklaci

Lze také uvažovat i o další formě recyklace opotřebovaných výrobků, které již ztratily svojí užitnou hodnotu [14].

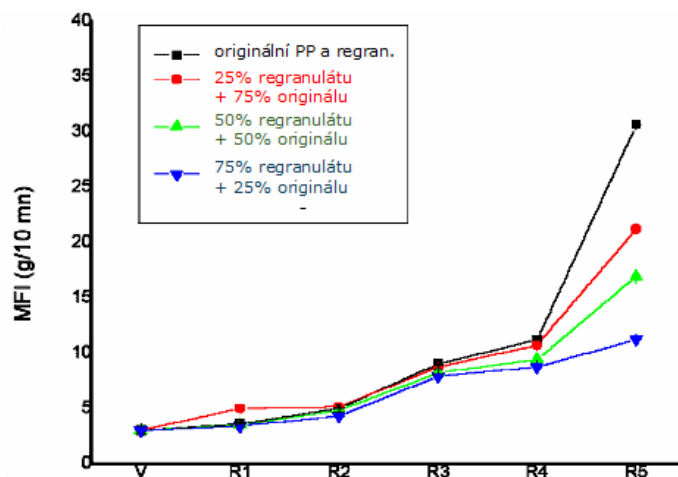
### 2.5.1 Podniková recyklace

Odpady, které vznikají výrobní činností, jsou při této formě recyklace využívány v tomtéž podniku jako vstupy do výrobních procesů. Ideálním případem, jenž tvoří rozhraní recyklačních technologií, která je doplňkem technologického procesu a bezodpadovou technologií, je opakované využívání polymerního odpadu jako vstupu ve stejném výrobním procesu. Obvykle bývá i opětovné využití odpadu v navazujících výrobních procesech. Podnikovou recyklací vzniká dynamicky se

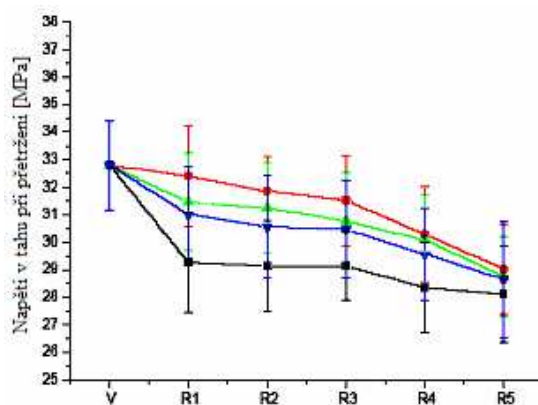
rozvíjející cyklus, kdy po spolupůsobení více postupů zpracování odpadů (zachycení, oddělení, vytrídění a úprava) jsou odpady vznikající při výrobě opětovně využity. Podniková recyklace může být utvářena jako uzavřený nebo naopak jako otevřený cyklus, u něhož však vyvstává potřeba samostatného organizačního útvaru.

➤ Uzavřeným cyklem recyklace lze rozumět způsobu, při kterém se využívá cyklického zpracování odpadu ve formě drti. Recyklační jednotka, která se skládá z mlýnu či drtiče, manipulátoru a dopravního zařízení pro polymerní odpad a drť, je umístěna přímo u vstřikovacího stroje. Tento odpad lze také využívat i z jiných strojů a tudíž je nezbytné zajištění dopravy odpadu do recyklační linky. V tomto případě by měly být přímo v provozní hale uspořádány stroje tak, aby mohly být využity manipulátory, případně dopravní pásy sloužící pro dopravu vtoků, odřezků, zmetků atd. k recyklační jednotce bez narušení obsluhy a ostatní pracovní činnosti. Při tomto zajištění je technologický odpad dopraven manipulátory přímo k recyklační jednotce, kde je následně zpracováván v mlýnu na drť, jejíž velikost je stanovena pomocí sít a jež je dopravována dopravníky až k mísiči (dávkovacímu zařízení), kde je přidávána k základnímu materiálu v předem daném procentuálním zastoupení. U této formy organizované recyklace se recyklát opětovně vrací do procesu, bez toho, aby byl hlídán počet jeho průchodů tavící komorou vstřikovacího stroje. To může vést k riziku ovlivnění jakosti výrobku. Lze říci, že jakost výrobků by tedy závisela na velikosti zmetkovitosti, resp. na zastoupení regenerátu v základnímu materiálu a především na počtu jeho průchodu tavící komorou stroje. Ze studie zabývající se vlivem několikanásobných průchodů polypropylenu extrudérem viz obr. 2.17 až obr. 2.19 je patrné, že počet průchodů polypropylenu extrudérem má vliv na výsledné vlastnosti materiálu (napětí v tahu při přetržení, rázová houževnatost Charpy a tokové vlastnosti).

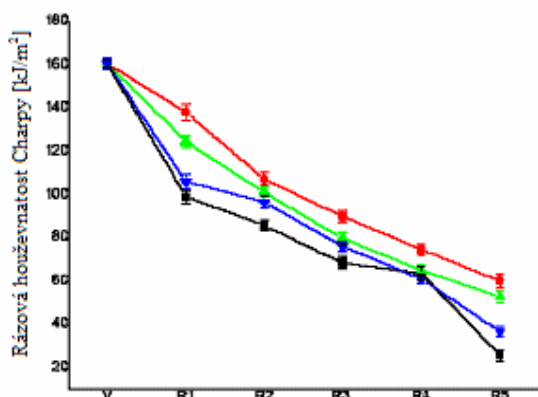




Obr. 2.17 Tokové vlastnosti homopolymeru polypropylenu PPH 4060 v závislosti na počtu průchodu extrudérem [15]



Obr. 2.18 Napětí v tahu při přetržení v závislosti na průchodu PPH 4060 extrudérem [15]



Obr. 2.19 Rázová houževnatost Charpy v závislosti na průchodu PPH 4060 extrudérem [15]



➤ Mezi další formu podnikové recyklace patří otevřený cyklus. Při této formě je mlýn či drtič umístěný na zvláště vyhrazeném místě v provozní hale. Pokud není možnost z prostorových či jiných důvodů zařadit mlýn přímo do haly, umístí se mimo halu. Odpadní materiál je ukládán do vyhrazených kontejnerů vedle linky buď za pomoci manipulátorů a dopravního systému nebo obsluhou linky. Po naplnění se tyto kontejnery odvezou k mlýnu a odpadní materiál se následně rozele. Tuto drť můžeme použít opět do výroby. Manipulaci této drtě, již od vzniku odpadu, až po přepravu k příslušnému stroji, zajišťuje většinou příslušný pracovník. Při tomto způsobu obsluhy materiálu však nelze zajistit požadovanou čistotu bez možnosti kontaminace či přimíchání jiného odpadu, což může být převážně způsobeno selháním technické kázně. Tento způsob obsluhy lze použít i pro umístění mlýnu mimo provozní halu, kde jinou možnost dopravy nemáme. Mezi další možnosti dopravy tohoto odpadu k mlýnu a drtě ke stroji lze využít i mechanického zařízení, kam lze zařadit hlavně strojové manipulátory a pásové zařízení, jež zajišťují uchopení a dopravu odpadu až k mlýnu. Z mlýna jde drť přímo do kontejneru, odkud je dopravována do sušících sil a poté je vhodnými podtlakovými mechanismy (viz obr. 2.20) nasávána až k danému vstřikovacímu stroji, kde je přidávána v požadovaném poměru k panenskému materiálu. Tento způsob dopravy pomocí mechanického zařízení má však i své negativní aspekty. Mezi ty patří hlavně ekonomická náročnost v důsledku kapitálu vynaloženého na potřebné zařízení a nelze opomenout i prostorovou náročnost. Velký význam zde proto sehrává již zmíněné nalezení vhodného místa k umístění mlýnu, ale zároveň i kontejneru a dopravního systému. Avšak jakožto i u výše uvedeného uzavřeného cyklu recyklace by nemělo dojít k opomenutí potřebného zajištění bezchybné obsluhy a veškeré ostatní pracovní činnosti [14].



Obr. 2.20 Dopravní a rozváděcí systém materiálu uvnitř podniku [20]

### 2.5.2 Mezipodniková recyklace

V případě mezipodnikové recyklace je do celého systému zapojeno více subjektů, podniků či jiných institucí zabývajících se zpracováním a využíváním odpadů. Mezipodnikovou recyklaci lze považovat za efektivní metodu využívání vratného odpadu. Jako vhodnější se ukazuje spolupráce několika podniků s odlišným výrobním programem, jež vede k vytváření koloběhu odpadů a druhotných surovin. Tímto odpadá hledání potřebného prostoru pro recyklační linku, nákup potřebného zařízení, náklady na obsluhu, nezájmu o nabízené výrobky z opětovně zpracovávaného odpadu či nezajištění stejné kvality u výrobků v porovnání s panenským materiálem. Ovšem náhrada tradičních surovin odpady získává s ohledem na rychlé pokroky vědy a techniky stále nové možnosti a vyhlídky do budoucna.

Mezipodniková recyklace s jednoduchým koloběhem látek vzniká tam, kde jsou odpady z výroby podnikem zabývajícím se jejich opětovným zpracováním upraveny a poté vedeny jako vstupy do podniků, v nichž tyto „odpady“ původně během výroby vznikaly. Po potřebné úpravě mohou být znovu používány jako výchozí materiál pro

podobné či stejné výrobky. Při takovém to způsobu využití odpadů vyvstává jako příznivý atribut především homogenita samotných polymerních odpadů, jednoduchá úprava i stejné či podobné vlastnosti vzhledem k prvotnímu materiálu.

Naopak typická nutnost úpravy odpadu a jeho následné použití mnohdy k jinému účelu se objevuje při mezipodnikové recyklaci se složitým koloběhem, v němž je začleněno více podniků, odvětví i oborů. Jako žádoucí záměr se projevuje nezbytnost uzavřít tok látek do úplného cyklu, k čemuž slouží použití úpravárenských procesů, při nichž dochází k zpracovávání odpadů fyzikálními, chemickými nebo biologickými úpravami. Při mezipodnikové recyklaci se jedná především o realizaci dalšího a zpětného využívání odpadů, mimo rozsah jednoho výrobního podniku [14].

## **2.6 Směs základního polymeru s regranulátem**

V dnešní době, kdy sílí tlak na opětovné využití polymerních odpadů vyvstává také otázka, jaký vliv má regranulát na konečné vlastnosti výrobku. Tyto vlastnosti jsou zvláště ovlivněny procentuálním zastoupením regranulátu v základním materiálu a také způsobem výroby a přípravy samotného regranulátu. Dlouholetý výzkum v této oblasti se zabývá především otázkou, jaké procentuální zastoupení regranulátu v panenském materiálu neovlivní výsledné vlastnosti plastových výrobků. Společnost Underwriters Laboratories, zabývající se těmito otázkami vytvořila v roce 1980 normu pro bezpečnost konstrukčních částí z polymerních materiálů UL 746D [16]. Tato norma stanovuje bezpečné množství regenerátu v panenském materiálu bez nutnosti provádět příslušné zkoušky a udává za bezpečné množství 25% regenerátu přidávaného k panenskému materiálu, aniž by došlo k většímu ovlivnění kvality dílu. Při překročení tohoto množství jsou požadovány zkoušky pro ověření bezpečnosti výrobku. Důležitým aspektem je také druh použitého plastu. Mnohé výzkumy a zkušenosti na některých plastech (PP, a jiné) říkají, že překročení této hranice nemá větší vliv na kvalitu výrobku.

Mezi nejvíce kontrolovanou oblast v této otázce patří automobilový průmysl a to zejména z důvodu bezpečnosti kladené na jednotlivé díly, proto je v automobilovém průmyslu podíl zastoupení regenerátu v základním materiálu nižší a to z důvodu zajištění maximální jakosti výrobku.

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Diplomová práce se zabývá regranulací technologického odpadu ve firmě Grupo Antolin Turnov s.r.o a hlavním cílem je posouzení vlivů regranulátu polypropylenů přidávaných do základních materiálů. Na základě technických požadavků byly hodnoceny reologické vlastnosti taveniny a mechanické vlastnosti výstřiků v závislosti na množství regranulátu přidávaného k základnímu materiálu. Experimentální výzkum byl proveden na třech typech polypropylenů, které byly vybrány na základě největší zmetkovitosti ve výrobě. Měření bylo provedeno na normalizovaných zkušebních tělesech v souladu s mezinárodními standardy a pro jeden z materiálů (HOSTACOM X M2 U43) také na dílech z praxe.

#### 3.1 Charakteristiky měřených materiálů

Hodnocené materiály se používají na výrobu komponentů pro automobilový průmysl. Konkrétně se jedná o výrobu dveřních výplní a B sloupků. Prvním materiálem je HOSTACOM X M2 U43. Je to polypropylen kopolymer s dobrou tekutostí, dobrou odolností proti UV záření, nezapáchá a obsahuje 16% talku.

Vybrané vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vybrané vlastnosti HOSTACOM X M2 U43 [17]

HOSTACOM X M2 U43			
	Hodnota	Jednotka	Norma
Fyzikální vlastnosti			
Hustota	1.01	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Objemový index toku taveniny (230 °C/2,16kg)	16	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu v tahu (50 mm/min)	23	MPa	ISO 527-1,2
Poměrné prodloužení v tahu (50 mm/min)	8	%	ISO 527-1,2
Rázová houževnatost dle Charpy při 23 °C	-	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1
Vrubová houževnatost dle Charpy při 23 °C	10	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1
Tepelné vlastnosti			
Tvarová stálost za tepla Vicat	62	°C	ISO 306

Druhým materiálem je HOSTACOM PPU 2734 HL25. Tento materiál byl vyvinutý speciálně pro výrobu interiérových dílů pro automobilový průmysl, kde je kladen hlavně důraz na odolnost proti poškrábání materiálu. Vybrané vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Vybrané vlastnosti HOSTACOM PPU 2734 HL25 [18]

<b>HOSTACOM PPU 2734 HL25</b>			
	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Norma</b>
<b>Fyzikální vlastnosti</b>			
<b>Hustota</b>	<b>0,9 – 0,92</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>ISO 1183</b>
<b>Hmotnostní index toku taveniny ( 230 °C, 2,16 kg)</b>	<b>7 - 15</b>	<b>g/10 min</b>	<b>ISO 1133</b>
<b>Objemový index toku taveniny( 230 °C, 2,16 kg)</b>	<b>8 - 16</b>	<b>cm<sup>3</sup>/10 min</b>	<b>ISO 1133</b>
<b>Mechanické vlastnosti</b>			
<b>Napětí na mezi kluzu v tahu</b>	<b>min. 18</b>	<b>MPa</b>	<b>ISO 527 - 2</b>
<b>Poměrné prodloužení na mezi kluzu v tahu</b>	<b>± 15</b>	<b>%</b>	<b>ISO 527 - 2</b>
<b>Modul pružnosti v ohybu</b>	<b>min. 900</b>	<b>MPa</b>	<b>ISO 178</b>
<b>Modul pružnosti ve smyku</b>	<b>350 – 530</b>	<b>MPa</b>	<b>ASTM D 5279</b>
<b>Dodatečné smrštění po 48 hod. při 23 °C</b>	<b>1,5 – 2</b>	<b>%</b>	<b>ISO 2577</b>
<b>Dodatečné smrštění po 48 hod. při 80 °C</b>	<b>0,15 – 0,3</b>	<b>%</b>	<b>ISO 2577</b>
<b>Dodatečné smrštění po 30 min. při 120 °C</b>	<b>0,00 – 0,15</b>	<b>%</b>	<b>ISO 2577</b>
<b>Vrubová houževnatost dle Izod při 23 °C</b>	<b>min. 9</b>	<b>kJ/m<sup>2</sup></b>	<b>ISO 180/1A</b>
<b>Vrubová houževnatost dle Izod při -40 °C</b>	<b>min. 2,8</b>	<b>kJ/m<sup>2</sup></b>	<b>ISO 180/1A</b>
<b>Vrubová houževnatost dle Izod při 10 °C</b>	<b>min. 6,5</b>	<b>kJ/m<sup>2</sup></b>	<b>ISO 180/1A</b>
<b>Tvrdost měřená Urometrem D</b>	<b>54 - 67</b>		<b>ISO 868</b>
<b>Ostatní vlastnosti</b>			
<b>Hořlavost</b>	<b>100</b>	<b>mm/min</b>	<b>ISO 3795</b>

Jako posledním materiálem je DAPLEN EE137HP. Je to polypropylen obsahující 10% talku. Tento materiál byl vyroben speciálně pro automobilový průmysl a to hlavně pro výrobu interiérových dílů. Vzhledem k obsahu talku nabízí také velmi dobrou tuhost. Vlastnosti materiálu DAPLEN EE 137HP jsou uvedeny v tab. 3.3.

Talek (mastek, steatit), chemický vzorec  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  je anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanů. U termoplastů se nejčastěji používá k plnění PP pro zlepšení jeho rozměrové stability (snížení smrštění) a zvýšení mechanických charakteristik dílů v důsledku vyššího stupně krystalinity a menších rozměrů krystalických útvarů (sferolitů). Obsah talku se u jednotlivých typů PP liší a může dosahovat až 40%.

Tab. 3.3 Vybrané vlastnosti DAPLEN EE137HP [19]

DAPLEN EE137HP			
	Hodnota	Jednotka	Norma
<b>Fyzikální vlastnosti</b>			
Hustota	980	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Hmotnostní index toku taveniny ( 230 °C, 2,16 kg)	8- 13	g/10 min	ISO 1133
Objemový index toku taveniny ( 230 °C, 2,16 kg)	10- 16	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
<b>Mechanické vlastnosti</b>			
Napětí na mezi kluzu v tahu (50 mm/min)	21	MPa	ISO 527 - 2
Poměrné prodloužení na mezi kluzu v tahu (50 mm/min)	8	%	ISO 527 - 2
Modul pružnosti v ohybu (2mm/min)	1500	MPa	ISO 178
Modul pružnosti v tahu (1mm/min)	1600	MPa	ISO 527 - 2
Rázová houževnatost dle Charpy při 23 °C	bez destrukce	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179 - 1
Rázová houževnatost dle Charpy při -20 °C	66	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179 - 1
Vrubová houževnatost dle Charpy při 23 °C	22	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179 / 1eA
Vrubová houževnatost dle Charpy při -20 °C	3,6	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179 / 1eA
Tvrdost podle Brinella (H385/30)	42	MPa	ISO 2039
<b>Tepelné vlastnosti</b>			
Teplota měknutí dle Vicata A (10N)	132	°C	ISO 306
Teplota měknutí dle Vicata B (50N)	52	°C	ISO 306

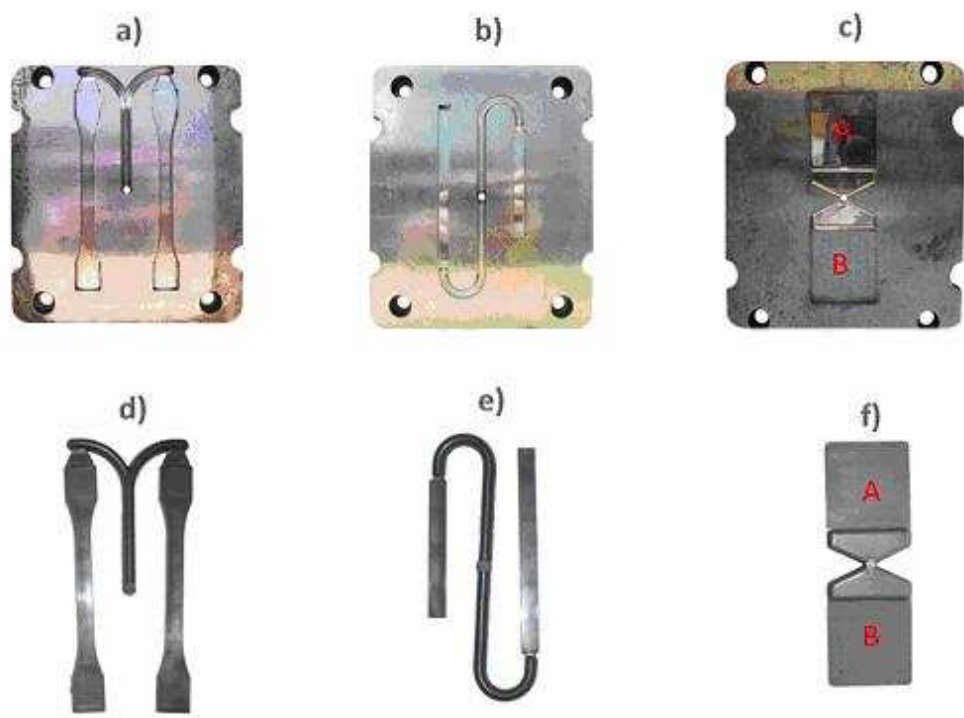
### **3.2 Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část**

Před samotnou výrobou normalizovaných zkušebních těles vstřikováním a zkušebních těles vyrobených z reálných dílů pro experimentální část bylo nutné provést přípravu všech materiálů, spočívající ve smíchání základního materiálu s regranulátem a to ve stanoveném množství odpovídající procentuálnímu zastoupení regranulátu v základním materiálu. Zkušební tělesa byla zhotovena s 0%, 20%, 50%, 70% a 100% regranulátu a tělesa odebraná z reálných dílů, s ohledem na výrobní možnosti, byla připravena s obsahem regranulátu v základním materiálu 0%, 50% a 100% pro odměření jednotlivých procentuálních poměrů vstřikovaných zkušebních těles bylo použito digitálních vah a smíchání takto připravených materiálů bylo provedeno ručně. Pro odměření jednotlivých procentuálních poměrů pro zkušební tělesa vyrobené z reálných dílů bylo použito gravimetrického dávkování, které je součástí vstřikovacího stroje ve výrobě.

### **3.3 Výroba vstřikovaných zkušebních vzorků**

Všechny vstřikované zkušební vzorky potřebné pro měření mechanických vlastností (tahových, ohybových, rázových a tvrdosti) byly vyrobeny na vstřikovacím stroji ENGEL ES 25/50 z již zmiňovaných materiálů, v souladu s mezinárodními standardy ČSN EN ISO 294-1, ČSN EN ISO 1873-2 a ČSN EN ISO 3167.

Pro výrobu zkušebních vzorků pro zkoušku tahem (viz obr. 3.1d) byla použita dvojnásobná vstřikovací forma s jednou dělicí rovinou (viz obr. 3.1a), kuželovým vtokem a šterbinovým ústím vtoku. Při výrobě zkušebních vzorků na ohybovou a rázovou zkoušku (viz obr. 3.1e) byla použita rovněž dvojnásobná vstřikovací forma (viz obr. 3.1b) s kuželovým vtokem, šterbinovým ústím vtoku, ovšem s jednou tvarovou dutinou pro zkušební těleso na rázovou zkoušku a druhou tvarovou dutinou pro zkušební těleso na ohybovou zkoušku. Po kondicionaci byl na tělesech pro rázovou zkoušku vyroben normalizovaný tvar vrubu typu A dle ČSN EN ISO 179-1 pomocí vrubovačky CEAST s digitálním mikrometrem. Pro výrobu zkušebních vzorků pro zkoušku tvrdosti (viz obr. 3.1f) byla použita dvojnásobná vstřikovací forma s jednou dělicí rovinou (viz obr. 3.1c) a s filmovým ústím vtoku.



Obr. 3.1 Formy pro vstřikovaná zkušební tělesa a vstřikovaná zkušební tělesa

Všechny zmiňované formy pro výrobu zkušebních těles byly temperovány pomocí teplonosného cirkulujícího média v temperančních kanálech (vody) pomocí temperančního agregátu TA3.

Všechny zkušební tělesa v závislosti na typu materiálu byla vstřikována v pěti různých šaržích, tedy v pěti různých procentuálních zastoupeních regranulátu v základním materiálu: 0%, 20%, 50%, 70% a 100% a to při konstantních technologických podmínkách (teplotě taveniny, době chlazení, době vstřikovacího cyklu, velikosti vstřikovacího tlaku apod.). Pro zajištění konstantní doby cyklu bylo nezbytné upravovat dobu manipulace, jelikož různé procentuální zastoupení regranulátu v základním materiálu mělo za následek měnící se dobu plastifikace. Samotné vstřikování se řídilo technologickými podmínkami, které jsou uvedeny v tab. 3.4 až v tab. 3.6.



Tab. 3.4 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro zkoušku tahem

Množství regranulátu		Šarže				
		0%	20%	50%	70%	100%
$T_{1,2,3}$ [°C]		160/140/120				
$T_{\text{trysky}}$ [A]		0,5				
$t_v + t_d$ [s]		20				
$t_{\text{ch}}$ [s]		15				
$t_{\text{pl}}$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	16	16	14	14	14
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	14	14	14	14	14
	DAPLEN EE137HP	15	15	15	15	15
$t_m$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	6	6	8	8	8
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	8	8	8	8	8
	DAPLEN EE137HP	7	7	7	7	7
$t_c$ [s]		60				
$p_{\text{vstř}}$ [MPa]		3				
$T_{\text{tm}}$ [°C]		60				
$t_s$ [s]		3				

Tab. 3.5 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro ohybovou a rázovou zkoušku

Množství regranulátu		Šarže				
		0%	20%	50%	70%	100%
$T_{1,2,3}$ [°C]		160/140/120				
$T_{\text{trysky}}$ [A]		0,5				
$t_v + t_d$ [s]		20				
$t_{\text{ch}}$ [s]		15				
$t_{\text{pl}}$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	12	12	11	11	12
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	10	10	10	8	10
	DAPLEN EE137HP	10	10	10	10	10
$t_m$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	10	10	11	11	10
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	12	12	12	14	12
	DAPLEN EE137HP	12	12	12	12	12
$t_c$ [s]		60				
$p_{\text{vstř}}$ [MPa]		3,5				
$T_{\text{tm}}$ [°C]		60				
$t_s$ [s]		3				

Tab. 3.6 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro zkoušku tvrdosti

		Šarže				
Množství regranulátu		0%	20%	50%	70%	100%
$T_{1,2,3}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]		140/130/110				
$T_{\text{trysky}}$ [A]		0,5				
$t_v + t_d$ [s]		25				
$t_{\text{ch}}$ [s]		10				
$t_{\text{pl}}$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	10	10	11	11	12
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	10	11	10	8	10
	DAPLEN EE137HP	10	11	10	10	10
$t_m$ [s]	HOSTACOM X M2 U43	12	13	11	11	10
	HOSTACOM PPU 2734 HL25	12	12	12	14	12
	DAPLEN EE137HP	12	12	12	12	12
$t_c$ [s]		60				
$p_{\text{vstř}}$ [MPa]		3,5				
$T_{\text{tm}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]		60				
$t_s$ [s]		3				

### 3.4 Výroba zkušebních vzorků z reálných dílů

Všechny vzorky potřebné pro měření mechanických vlastností (tahových, ohybových, rázových a tvrdosti) pro účely porovnání s výsledky měření na normalizovaných zkušebních tělesech byly vyrobeny z reálných dílů, které byly vstřikovány na vstřikovacím lisu Krauss Maffei KM 2000-12000 MC z materiálu HOSTACOM X M2 U43 (s ohledem na možnosti ve firmě).

Pro výrobu reálných dílů byla použita dvojnásobná vstřikovací forma s jednou dělicí rovinou (viz obr. 3.2) a dvěma tvarovými dutinami pro výrobu nosičů dveřních výplní. Všechny reálné díly byly vstřikovány ve třech různých šaržích, tedy ve třech různých procentuálních zastoupeních regranulátu v základním materiálu: 0%, 50%, a 100% a to při stejných technologických podmínkách, jenž jsou použity při samotné výrobě (teplotě taveniny, době chlazení, době vstřikovacího cyklu, velikosti vstřikovacího tlaku apod.) a které s ohledem na know-how firmy Grupo Antolin Turnov s.r.o zde nejsou blíže specifikovány, což pro účely této práce není ani

nezbytně nutné. Po kondicionaci byly z reálných dílů obrobena zkušební tělesa dle rozměrů, jenž předepisují jednotlivé normy.



Obr. 3.2 Vstřikovací forma pro výrobu reálných dílů (nosičů) [20]

### 3.4.1 Odebrání zkušebních vzorků z reálných dílů

Všechny zkušební vzorky byly odebrány ze zadních nosičů, které slouží pro kompletaci dveřních výplní a jsou vstřikovány ve firmě Grupo Antolin Turnov s.r.o. Vzorky byly odebírány z dílů ze shodné tvarové dutiny tak, aby byla pro danou zkoušku dodržena stejná orientace a směr odebrání těles: vzorky pro tahovou zkoušku byly odebrány s orientací a směrem dle obr. 3.3, vzorky pro ohyb a vrubovou houževnatost byly odebrány tak, jak je znázorněno na obr. 3.4 a vzorky pro zkoušku tvrdosti byly odebrány z místa nosiče viz obr. 3.5.



Obr. 3.3 Místo a směr odebrání vzorků pro tahovou zkoušku [20]



Obr. 3.4 Místo a směr odebrání vzorků pro ohyb a vrubovou houževnatost [20]



Obr. 3.5 Místo a směr odebrání vzorků pro zkoušku tvrdosti [20]

### 3.5 Hodnocení fyzikálně-mechanických vlastností

V dnešní době je kladen důraz zejména na kvalitu a bezpečnost výrobku, a aby se výrobce popřípadě zákazník rozhodl pro použití technologické recyklace je zapotřebí prokázat, že procentuální zastoupení regranulátu neovlivní či naopak ovlivní mechanické vlastnosti a tím i již zmiňovanou kvalitu a bezpečnost výrobku. Z tohoto důvodu je zapotřebí zhodnotit vliv přidávaného regranulátu do panenského materiálu pomocí fyzikálně-mechanických vlastností, které musí odpovídat dané bezpečnosti a požadavkům výrobce či zákazníka.

Hodnocení těchto fyzikálně-mechanických vlastností výstřiků v závislosti na procentuálním zastoupením daného regranulátu, bylo provedeno hodnocením tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527, ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 178, rázových vlastností metodou Charpy dle ČSN EN ISO 179-1 a zkouškou tvrdosti dle ČSN EN ISO 868. Všechna zkušební tělesa (viz kap. 3.3) byla před hodnocením fyzikálně-mechanických vlastností kondicionována při standardním prostředí 23/50 dle normy ČSN EN ISO 291. Dále byl s ohledem na zpracovatelnost materiálu hodnocen vliv přídavku regranulátu (s 0%, 50% a 100%) na reologické (tokové) vlastnosti taveniny pomocí objemového indexu toku taveniny dle ČSN EN ISO 1133.

#### 3.5.1 Hodnocení tahových vlastností

Tato zkouška slouží k zjištění nejdůležitějších mechanických vlastností plastů, jež slouží k hodnocení chování plastů při jednoosém tahovém zatížení. Zkouška se provádí na tělesech definovaných normou a při normou definovaných podmínkách zkoušení mezi které patří rychlost zkoušení či stejné prostředí, v němž proběhlo kondicionování zkušebních těles. Samotné výsledky zkoušky jsou závislé na podmínkách při výrobě zkušebních těles i na samotných podmínkách v průběhu zkoušky. Při samotné zkoušce se zaznamenává síla a jí odpovídající hodnoty zvětšení počáteční měřené délky (v tomto případě s ohledem na morfologii výstřiku ze vzdálenosti mezi čelistmi). Dále je zaznamenávána závislost napětí ( $\sigma$ ) dle vztahu (3.1) na poměrném prodloužení ( $\epsilon$ ) dle vztahu (3.2), z níž jsou odečteny potřebné hodnoty napětí a poměrného prodloužení.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

kde  $\sigma$ .....vyhodnocovaná hodnota tahového napětí [MPa]  
 $F$ .....příslušná naměřená hodnota síly [N]  
 $A$ .....plocha počátečního příčného průřezu zkušební tělesa [mm<sup>2</sup>]

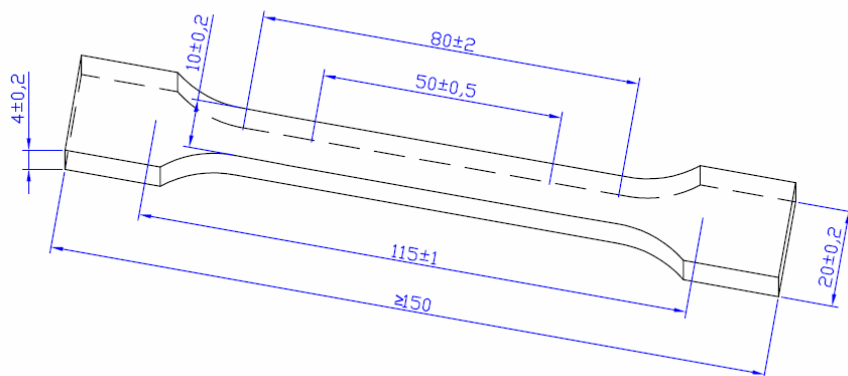
$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad (3.2)$$

kde  $\varepsilon$ .....vyhodnocovaná hodnota poměrného prodloužení [%]  
 $\Delta L_0$ ....zvětšení délky zkušební tělesa [mm]  
 $L_0$ .....počáteční měřená délka zkušební tělesa [mm]

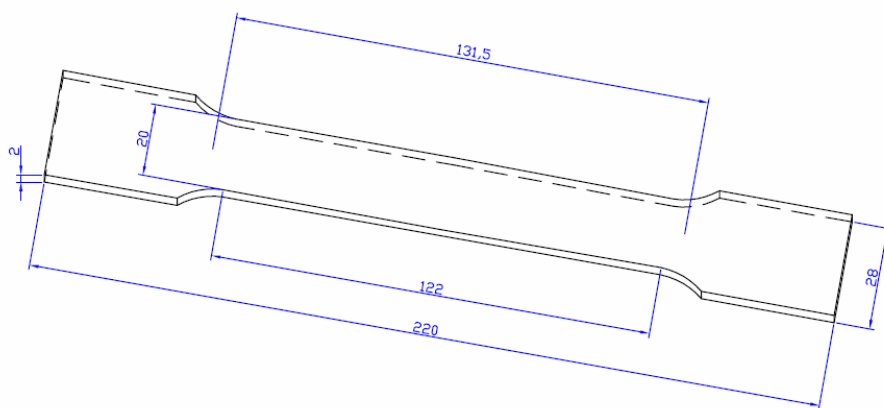
Prodloužení při maximální síle i mez pevnosti lze vyhodnotit, pokud praskne zkušební těleso v oblasti měřené délky stanovené v normě ČSN EN ISO 527-1. V každém požadovaném směru zkoušení a pro každou vlastnost (modul pružnosti, mez pevnosti v tahu atd.) musí být zkoušeno minimálně pět zkušebních těles. Avšak je-li požadována větší přesnost středních hodnot může být počet zkušebních těles vyšší.

Zkušební tělesa pro hodnocení tahových vlastností v závislosti na druhu regranulátu a jeho procentuálním zastoupením v základním materiálu o rozměrech viz obr. 3.6 pro vstřikované tělesa (typ tělesa 1B dle ČSN EN ISO 527) a viz obr. 3.7 pro tělesa obrobených z reálných dílů byly protahovány ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí zkoušení 50 mm/min až do jejich porušení a to v podmínkách, jež byly shodné s podmínkami kondicionace zkušebních těles. Rozměry zkušebních těles odebraných z reálných dílů byly zhotoveny na střižném

nástroji a výstředníkovém lisu. Tvar a rozměry zkušebních těles z reálných výstřiků jsou zhotoveny s dohodnutou odchylkou právě v rozměrech těles dle možností použití střížného nástroje, který byl v laboratořích TUL k dispozici.



Obr. 3.6 Tvar a rozměry vstřikovaného zkušebního tělesa pro zkoušku tahem [mm]



Obr. 3.7 Tvar a rozměry zkušebního tělesa obrobeného z reálného dílu pro zkoušku tahem [mm]



Obr. 3.8 Schéma zkušebního stroje Hounsfield H10KT pro zkoušku tahem

Vstříkovaná tělesa všech zkušebních šarží daných materiálem byla zkoušena na zkušebním zařízení Hounsfield H10KT s měřicí hlavou do 10 kN s programem QMAT (viz obr. 3.8). Tělesa z reálných dílů pak byla zkoušena na zkušebním zařízení Tira Test 2300 s měřicí hlavou do 10 kN. Naměřené průměrné hodnoty napětí na mezi kluzu, resp. pevnosti v tahu a příslušné jmenovité poměrné prodloužení ( zvětšení délky vztažené na jednotku původní vzdálenosti mezi čelistmi) pro jednotlivé šarže vstříkovaných vzorků, včetně statického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.7 až v tab. 3.9 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 1 (viz tab. A1 až tab. A3). Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vzorků z reálných dílů, včetně statického vyhodnocení jsou pak zaznamenány v tab. 3.10 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 1 (viz tab. A4) [21].



Tab. 3.7 Tahové vlastnosti vstřikovaných vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43		
Šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_{ty} = \epsilon_{tM}$ [%]
0%	20,9 ± 0,2	6,0 ± 0,1
20%	21,4 ± 0,1	6,2 ± 0,1
50%	21,6 ± 0,1	6,1 ± 0,2
70%	21,3 ± 0,1	5,9 ± 0,2
100%	21,3 ± 0,1	5,7 ± 0,1

Tab. 3.8 Tahové vlastnosti vstřikovaných vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

HOSTACOM PPU 2734 HL25		
Šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_{ty} = \epsilon_{tM}$ [%]
0%	19,2 ± 0,3	7,3 ± 0,1
20%	19,0 ± 0,1	7,1 ± 0,1
50%	18,8 ± 0,1	7,2 ± 0,2
70%	18,7 ± 0,1	7,3 ± 0,3
100%	18,4 ± 0,1	7,2 ± 0,2

Tab. 3.9 Tahové vlastnosti vstřikovaných vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

DAPLEN EE137HP		
Šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_{ty} = \epsilon_{tM}$ [%]
0%	19,4 ± 0,1	6,8 ± 0,2
20%	19,3 ± 0,1	6,9 ± 0,1
50%	19,2 ± 0,1	6,8 ± 0,1
70%	19,3 ± 0,1	6,9 ± 0,2
100%	19,1 ± 0,1	7,1 ± 0,2

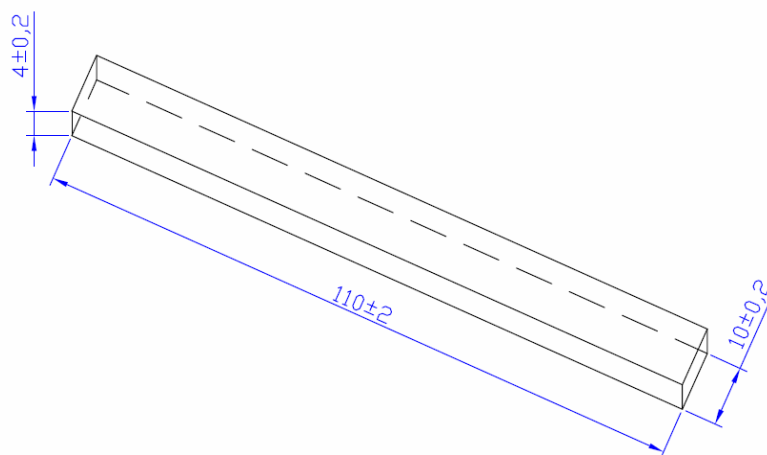
Tab. 3.10 Tahové vlastnosti zkušebních vzorků z reálných dílů v závislosti na množství regenerulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

Šarže	HOSTACOM X M2 U43	
	$\sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_{tB}$ [%]
0%	$19,7 \pm 0,4$	$15,5 \pm 2,3$
50%	$20,0 \pm 0,5$	$16,5 \pm 1,5$
100%	$18,5 \pm 0,5$	$17,5 \pm 2,3$

### 3.5.2 Hodnocení ohybových vlastností

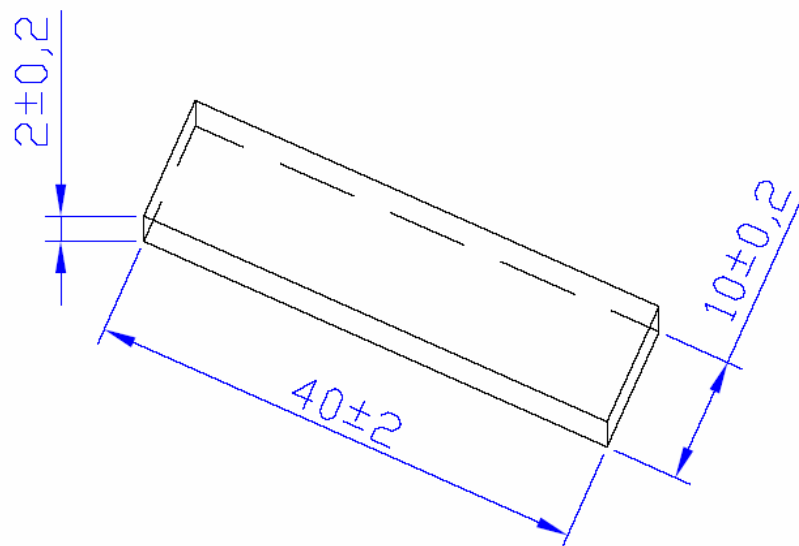
Ohybová zkouška ČSN EN ISO 178 se používá k hodnocení chování zkušebního tělesa při namáhání ohybem. S její pomocí lze určit pevnost v ohybu i další závislosti mezi napětím a deformací při stanovených podmínkách.

Zkouška se provádí na tělesech jejichž rozměry stanovuje norma ČSN EN ISO 178 (vstřikované zkušební tělesa byla zhotovena s dohodnutou odchylkou v rozměrech viz obr. 3.9 a tělesa z reálných dílů odpovídají normě viz obr. 3.10). Zkušební těleso bylo volně položeno na dvě podpory a zatěžováno přitlačným trnem, jenž působil na zkušební těleso uprostřed podpěr (vzdálenost podpěr 84 mm, resp. 32 mm pro tělesa odebraná z reálných dílů). V průběhu celé zkoušky se trn pohyboval konstantní rychlostí 2 mm/min a působil na zkušební těleso až do doby, než se dosáhlo předem stanovené hodnoty deformace za mezí pevnosti v ohybu [22].



Obr 3.9 Tvar a rozměry vstřikovaného zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku

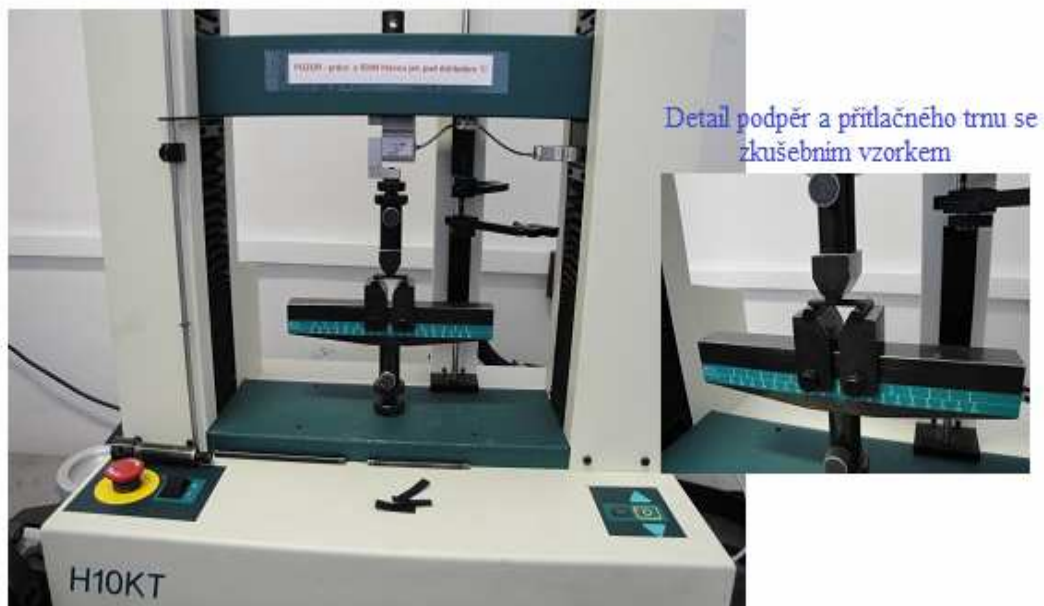
[mm]



Obr 3.10 Tvar a rozměry zkušebního tělesa z reálného dílu pro ohybovou zkoušku  
[mm]

Ohybová zkouška byla prováděna na zkušebním stroji Housfield H10KT (viz obr. 3.11) s programem QMAT. Pro každou šarži bylo zkoušeno 5 zkušebních vzorků a to jak u vzorků vstřikovaných, tak u vzorků z reálných dílů.

Pro každý vzorek ze všech materiálových šarží byl stanoven modul pružnosti (dle vztahu 3.3) z lineární regrese části křivky napětí v ohybu – deformace ležící mezi dvěma body odpovídající deformaci  $\varepsilon_{f1} = 0,0005\%$  a  $\varepsilon_{f2} = 0,0025\%$  (viz ISO 178, odst. 3.11, poznámka 3). Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vstřikovaných vzorků, včetně statického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.11 až v tab. 3.13 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 2 (viz tab. A5 až tab. A7). Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vzorků z reálných dílů, včetně statického vyhodnocení jsou pak zaznamenány v tab. 3.14 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 2 (viz tab. A8).



Zkušební stroj Hounsfield H10KT

Obr. 3.11 Schéma zkušebního stroje Hounsfield H10KT pro zkoušku ohybem

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3.3)$$

kde	$E_f$ .....	modul pružnosti v ohybu	[MPa]
	$\sigma_{f1}$ .....	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1}$	[MPa]
	$\sigma_{f2}$ .....	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2}$	[MPa]
	$\varepsilon_{f1}$ .....	deformace ohybem 0,0005	[%]
	$\varepsilon_{f2}$ .....	deformace ohybem 0,0025	[%]

Tab. 3.11 Ohybové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43		
Šarže	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	<b>28,7 ± 0,1</b>	<b>1369,0 ± 65,1</b>
20%	<b>29,5 ± 0,1</b>	<b>1443,7 ± 0,0</b>
50%	<b>29,6 ± 0,2</b>	<b>1478,3 ± 42,4</b>
70%	<b>29,9 ± 0,1</b>	<b>1478,3 ± 69,2</b>
100%	<b>29,4 ± 0,2</b>	<b>1461,0 ± 64,8</b>

Tab. 3.12 Ohybové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

HOSTACOM PPU 2734 HL25		
Šarže	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	<b>23,8 ± 0,1</b>	<b>796,9 ± 56,5</b>
20%	<b>23,8 ± 0,1</b>	<b>843,1 ± 46,2</b>
50%	<b>23,2 ± 0,1</b>	<b>750,7 ± 0,0</b>
70%	<b>22,9 ± 0,4</b>	<b>796,9 ± 56,5</b>
100%	<b>22,3 ± 0,1</b>	<b>843,1 ± 46,2</b>

Tab. 3.13 Ohybové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

DAPLEN EE137HP		
Šarže	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	<b>23,9 ± 0,1</b>	<b>1241,6 ± 0,0</b>
20%	<b>24,7 ± 0,4</b>	<b>1334,0 ± 46,2</b>
50%	<b>25,1 ± 0,2</b>	<b>1328,2 ± 77,4</b>
70%	<b>25,3 ± 0,2</b>	<b>1357,1 ± 0,0</b>
100%	<b>25,3 ± 0,2</b>	<b>1357,1 ± 0,0</b>

Tab. 3.14 Ohybové vlastnosti zkušebních vzorků z reálných dílů v závislosti na množství regenerulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43		
Šarže	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	<b><math>34,8 \pm 0,9</math></b>	<b><math>1258,5 \pm 110,1</math></b>
50%	<b><math>33,9 \pm 0,8</math></b>	<b><math>1317,5 \pm 79,8</math></b>
100%	<b><math>32,1 \pm 0,3</math></b>	<b><math>1188,4 \pm 72,0</math></b>

### 3.5.3 Hodnocení vrubové houževnatosti

Častým parametrem hodnocení materiálů je rázová houževnatost ( $a_{cU}$ ). Rázová houževnatost se stanovuje pro materiály, jenž se zlomí nárazem na zkušební těleso, pokud ovšem ke zlomení nedojde, je možné zkušební těleso zeslabit vrubem a v tomto případě zjišťujeme vrubovou, nikoliv rázovou, houževnatost ( $a_{cN}$ ,  $N=A, B, C$  dle typu vrubu). Stanovení rázové, resp. vrubové houževnatosti je provedeno metodou Charpy. Stejně tak jako u zkoušky tahem a ohybem probíhá rázová zkouška ve stejném prostředí, ve kterém byla zkušební tělesa kondicionována.

Před zahájením zkoušky bylo zapotřebí provést vyvážení a seřízení přístroje Ceast Resil 5.5 (viz obr. 3.12). Následně bylo zapotřebí zkalibrovat kladivo a to tím způsobem, že bylo kladivo puštěno volným pádem bez zkušebního tělesa pro zjištění ztráty energie třením a odporu vzduchu (tzv. ráz naslepo bez zkušebního tělesa). K hodnocení vrubové houževnatosti bylo vybráno takové kladivo, aby hodnota energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa ležela vždy v rozmezí 10% až 80% potenciální energie kladiva. K hodnocení rázových vlastností bylo použito rázové kladivo Resil 5.5 firmy CEAST S.p.A.

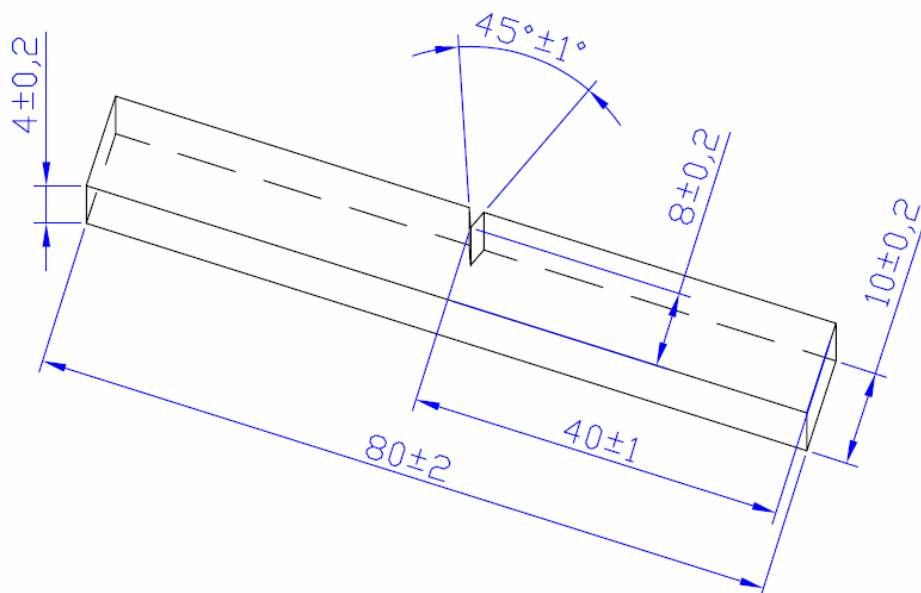
Vrubová houževnatost byla prováděna na zkušebních tělesech předepsaných rozměrů s vrubem normalizovaného rozměru typu A o poloměru zaoblení 0,25 mm pro vstřikovaná zkušební tělesa (viz obr. 3.13) a pro tělesa z reálných dílů (viz obr. 3.14) za podmínek dle ČSN EN ISO 179-1. Tělesa připravená z reálných dílů byla zhotovena mechanickým obráběním – frézováním [23].

Zkušební přístroj Ceast Resil 5.5  
se zaaretovaným kladivem

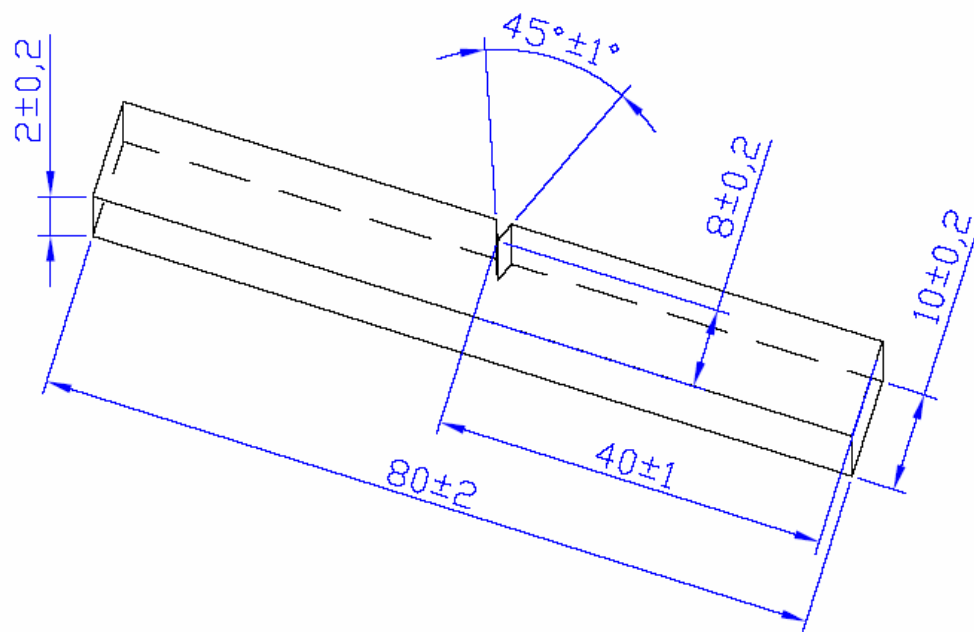


Detail na uchycení zkušebního  
tělesa

Obr. 3.12 Zkušební zařízení Ceast Resil 5.5



Obr. 3.13 Tvar a rozměry vstříkovaného zkušebního tělesa pro zkoušku vrubové  
houževnatosti [mm]



Obr. 3.14 Tvar a rozměry zkušební tělesa z reálného dílu pro zkoušku vrubové houževnatosti [mm]

Zkušební těleso se umístilo vodorovně na podpěry tak, aby střed vrubu ležel v dráze kladiva a ráz působil proti vrubu. Poté bylo kladivo zaaretováno ve výchozí pozici. Po uvolnění kladiva bylo zkušební těleso přeraženo na užší straně rychlostí  $2,9 \text{ m/s} \pm 10\%$ . Všechna zkušební tělesa byla přeražena typem přeražení C úplné přeražení, včetně kloubového přeražení H.

Pro každý zkušební vzorek se ze spotřebované energie k jeho přeražení vypočítala vrubová houževnatost dle vztahu (3.4).

$$a_{cA} = \frac{E_C}{h * b_N} \quad (3.4)$$



kde	$a_{cA}$ .....vrubová houževnatost Charpy, vrub typu A	[kJ/m <sup>2</sup> ]
	$E_C$ .....korigovaná energie spotřebovaná pro přeražení tělesa	[J]
	$h$ .....tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
	$b_N$ .....šířka zkušebního tělesa pod vrubem	[mm]

Zkouška byla provedena na 10 zkušebních vzorcích od každé šarže, jak na vstřikovaných tělesech, tak i na tělesech obrobených z reálných dílů. Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vstřikovaných vzorků, včetně statického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.15 až v tab. 3.17 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 3 (viz tab. A9 až tab. A11). Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vzorků z reálných dílů, včetně statického vyhodnocení jsou pak zaznamenány v tab. 3.18 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 3 (viz tab. A12).

Tab. 3.15 Rázové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regenerulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43				
Šarže	$E_C$ [J]	$a_{cA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$E_n$ [J]
0%	<b>0,22 ± 0,01</b>	<b>7,2 ± 0,3</b>	2,9 ± 10%	0,5
20%	<b>0,24 ± 0,01</b>	<b>7,6 ± 0,4</b>		
50%	<b>0,25 ± 0,01</b>	<b>8,0 ± 0,3</b>		
70%	<b>0,26 ± 0,01</b>	<b>8,2 ± 0,1</b>		
100%	<b>0,26 ± 0,01</b>	<b>8,4 ± 0,2</b>		

Tab. 3.16 Rázové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

HOSTACOM PPU 2734 HL25				
Šarže	$E_C$ [J]	$a_{cA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$E_n$ [J]
0%	<b><math>0,53 \pm 0,05</math></b>	<b><math>16,7 \pm 1,6</math></b>	$2,9 \pm 10\%$	5
20%	<b><math>0,54 \pm 0,06</math></b>	<b><math>16,9 \pm 1,8</math></b>		
50%	<b><math>0,53 \pm 0,06</math></b>	<b><math>16,8 \pm 1,8</math></b>		
70%	<b><math>0,56 \pm 0,05</math></b>	<b><math>17,6 \pm 1,7</math></b>		
100%	<b><math>0,60 \pm 0,09</math></b>	<b><math>19,0 \pm 2,9</math></b>		

Tab. 3.17 Rázové vlastnosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

DAPLEN EE137HP				
Šarže	$E_C$ [J]	$a_{cA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$E_n$ [J]
0%	<b><math>0,54 \pm 0,03</math></b>	<b><math>16,8 \pm 0,9</math></b>	$2,9 \pm 10\%$	5
20%	<b><math>0,55 \pm 0,02</math></b>	<b><math>17,2 \pm 0,7</math></b>		
50%	<b><math>0,55 \pm 0,02</math></b>	<b><math>17,4 \pm 0,6</math></b>		
70%	<b><math>0,56 \pm 0,03</math></b>	<b><math>17,6 \pm 1,0</math></b>		
100%	<b><math>0,50 \pm 0,04</math></b>	<b><math>15,7 \pm 1,2</math></b>		

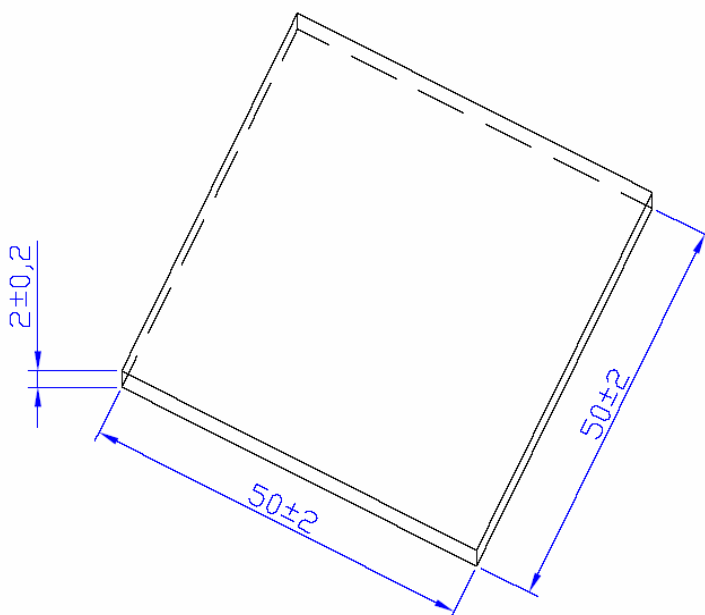
Tab. 3.15 Rázové vlastnosti zkušebních vzorků z reálných dílů v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43				
Šarže	$E_C$ [J]	$a_{cA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$E_n$ [J]
0%	<b><math>0,144 \pm 0,001</math></b>	<b><math>8,3 \pm 0,6</math></b>	$2,9 \pm 10\%$	0,5
50%	<b><math>0,144 \pm 0,011</math></b>	<b><math>8,2 \pm 0,5</math></b>		
100%	<b><math>0,230 \pm 0,067</math></b>	<b><math>13,2 \pm 3,6</math></b>		

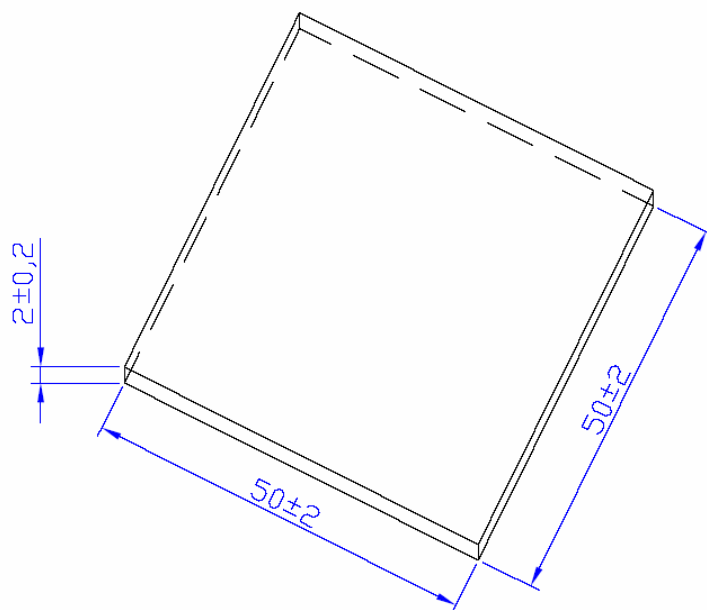
### 3.5.4 Hodnocení tvrdosti Shore D

Pro vyhodnocení tvrdosti zkušebních vzorků byla použita norma ČSN EN ISO 868. Podstatou této zkoušky je měření hloubky vtlačení specifikovaného hrotu vtlačovaného do vzorku materiálu za stanovených podmínek. Hodnota tvrdosti je pak nepřímo úměrná hloubce vtlačení hrotu a závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu.

Zkouška se provádí na tělesech předepsaných normou ČSN EN ISO 868. Tato norma říká, že tloušťka zkušebního tělesa musí být nejméně 4 mm a zkušební těleso musí být také dostatečně velké, aby bylo možné provádět měření ve vzdálenosti nejméně 9 mm od kteréhokoli okraje [24]. Pro tuto zkoušku bylo použito vstřikované těleso s rozměry viz obr. 3.15 a těleso, jenž bylo obrobena z reálného dílu s rozměry viz obr. 3.16. Aby bylo dosaženo rozměrů těles předepsaných normou (min. tloušťka 4 mm) bylo zapotřebí položit dvě zkušební tělesa na sebe a to jak u vstřikovaných vzorků, tak i u vzorků z reálných dílů. Zkušební těleso bylo umístěno na tvrdý rovný vodorovný povrch digitálního tvrdoměru Shore D, viz obr. 3.17 tak, aby špička zkušebního hrotu byla nejméně 9 mm od kteréhokoli okraje zkušebního tělesa.



Obr. 3.15 Tvar a rozměry vstřikovaného zkušebního tělesa pro zkoušku tvrdosti  
[mm]



Obr. 3.16 Tvar a rozměry vstřikovaného zkušební tělesa pro zkoušku tvrdosti  
[mm]



Obr. 3.17 Digitální tvrdoměr Shore D

Následně byl spuštěn cyklus, kdy se opěrná patka tvrdoměru přitlačila na zkušební těleso. Po docílení pevného kontaktu mezi opěrnou patkou a zkušebním tělesem byla na digitálním displeji tvrdoměru odečtena počáteční (okamžitá) hodnota tvrdosti (hodnota, která se odečítá do 1 sekundy po docílení pevného kontaktu mezi opěrnou

patkou a zkušebním tělesem). Takto bylo provedeno 10 měření na různých místech zkušebního tělesa vzdálených od sebe nejméně 6 mm a to pro každou šarži jak pro vstřikované tělesa tak i pro tělesa obrobené z reálných dílů.

Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vstřikovaných vzorků, včetně statického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.19 až v tab. 3.21 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 4 (viz tab. A13 až tab. A15). Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže vzorků z reálných dílů, včetně statického vyhodnocení jsou pak zaznamenány v tab. 3.22 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 4 (viz tab. A16).

Tab. 3.19 Vlastnosti tvrdosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regenerulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

	<b>HOSTACOM X M2 U43</b>
<b>Šarže</b>	<b>Shore D/1</b>
0%	<b>62,3 ± 2,1</b>
20%	<b>63,4 ± 1,7</b>
50%	<b>63,4 ± 1,8</b>
70%	<b>63,0 ± 1,8</b>
100%	<b>61,1 ± 0,9</b>

Tab. 3.20 Vlastnosti tvrdosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regenerulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

	<b>HOSTACOM PPU 2734 HL25</b>
<b>Šarže</b>	<b>Shore D/1</b>
0%	<b>61,8 ± 1,7</b>
20%	<b>61,2 ± 2,4</b>
50%	<b>59,9 ± 1,2</b>
70%	<b>60,4 ± 1,7</b>
100%	<b>60,9 ± 1,3</b>

Tab. 3.21 Vlastnosti tvrdosti vstřikovaných zkušebních vzorků v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

	<b>DAPLEN EE137HP</b>
<b>Šarže</b>	Shore D/1
0%	<b>60,7 ± 2,6</b>
20%	<b>60,1 ± 1,6</b>
50%	<b>61,2 ± 1,0</b>
70%	<b>62,7 ± 1,0</b>
100%	<b>63,6 ± 0,6</b>

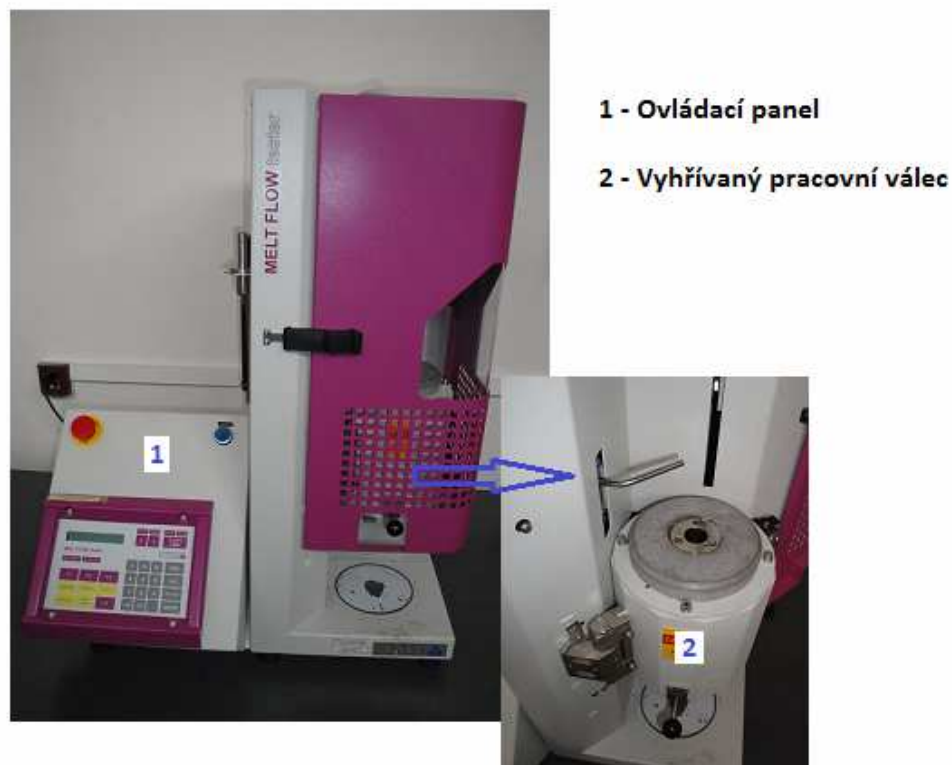
Tab. 3.22 Vlastnosti tvrdosti zkušebních vzorků z reálných dílů v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

	<b>HOSTACOM X M2 U43</b>
<b>Šarže</b>	Shore D/1
0%	<b>65,4 ± 0,6</b>
50%	<b>66,0 ± 0,6</b>
100%	<b>65,0 ± 0,3</b>

### 3.5.5 Hodnocení reologických vlastností

Pro vyhodnocení tokových vlastností materiálu byla provedena zkouška objemového indexu toku taveniny dle normy ČSN EN ISO 1133. Zkouška byla provedena na kapilárním výtlačném plastometru firmy Ceast S.p.A (viz obr. 3.18).

Před započítáním zkoušky bylo nezbytné vyhřát válec na zvolenou teplotu (PP 230<sup>0</sup>C) a ponechat jej na této teplotě alespoň 15 minut. Následně bylo odměřeno dle předpokládaného indexu toku taveniny 6-8g vzorku a to v 0%, 50% a 100% šarži. Vzorek materiálu byl během plnění válce (max. 1 minutu) ručně stlačován pěchovací tyčkou, aby se zabránilo přítomnosti vzduchu.



Obr. 3.18 Kapilární výtlačný plastometr

Po 4 minutách po vložení zkušebního vzorku do válce, to je doba za kterou se teplota vrátí zpět na zvolenou hodnotu, bylo na píst umístěno zvolené závaží, které se nechalo volně klesat. V době, kdy spodní referenční značka dosáhla horní hrany válce se spustilo měření času, po který se píst pohyboval na stanovenou vzdálenost a v průběhu měření byl materiál odřezáván a to po uplynutí dráhy 2,5 milimetrů na pístu. Po každém odříznutí byl vypočten objemový index toku taveniny pomocí vztahu (3.5) [25]. Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže, včetně statického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.23 až v tab. 3.25 a dílčí hodnoty jsou uvedeny v příloze 5 (viz tab. A13 až tab. A15).

$$\text{MVR}(T, m_{\text{nom}}) = \frac{A * t_{\text{ref}} * 1}{t} \quad (3.5)$$

kde	T.....zkušební teplota	[°C]
	$m_{nom}$ .....nominální zatížení	[kg]
	A.....průměrný průřez pístu a válce	[cm <sup>2</sup> ] (=0,711 cm <sup>2</sup> )
	$t_{ref}$ .....referenční čas	[s] (10min = 600s)
	t.....průměrná hodnota jednotlivých měření času	[s]
	l.....stanovená vzdálenost, kterou urazí píst	[cm]

Tab. 3.23 Hodnoty objemového indexu toku taveniny v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43

HOSTACOM X M2 U43			
Šarže	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T [°C]	$m_{nom}$ [kg]
0%	<b>14,3 ± 0,1</b>	230	2,16
50%	<b>15,5 ± 0,1</b>		
100%	<b>16,3 ± 0,2</b>		

Tab. 3.24 Hodnoty objemového indexu toku taveniny v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

HOSTACOM PPU 2734 HL25			
Šarže	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T [°C]	$m_{nom}$ [kg]
0%	<b>14,4 ± 0,1</b>	230	2,16
50%	<b>13,2 ± 0,1</b>		
100%	<b>14,4 ± 0,1</b>		



Tab. 3.25 Hodnoty objemového indexu toku taveniny v závislosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

DAPLEN EE137HP			
Šarže	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T[°C]	m <sub>nom</sub> [kg]
0%	<b>11,9 ± 0,2</b>	230	2,16
50%	<b>13,2 ± 0,1</b>		
100%	<b>13,7 ± 0,2</b>		

## **4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUZE**

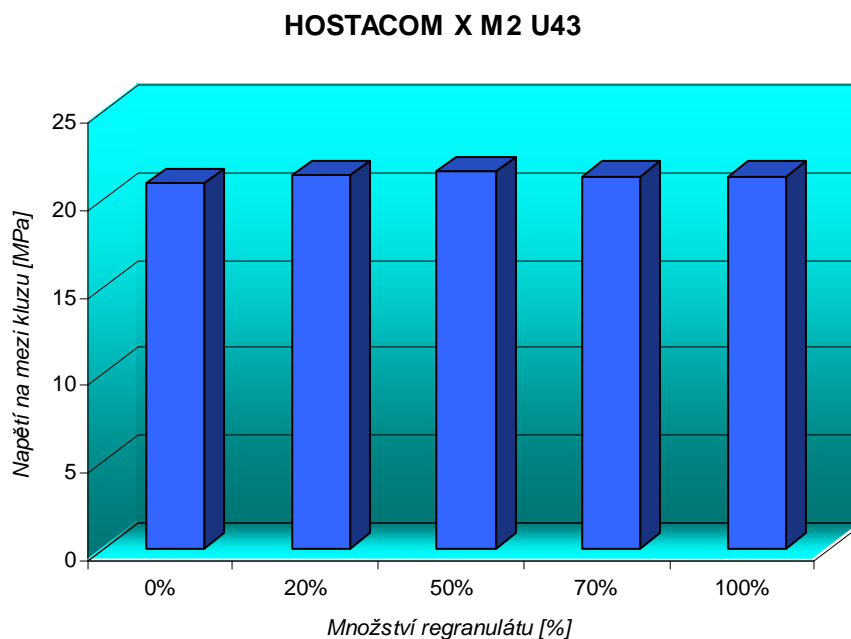
Pro vyhodnocení výsledků byly použity naměřené hodnoty mechanických vlastností a to jak ze vzorků vstřikovaných, tak i ze vzorků zhotovených z reálných dílů a také naměřené hodnoty ze zkoušky objemového indexu toku taveniny (viz kap. 3.4) ze kterých byly zhotoveny grafické závislosti.

### **4.1 VYHODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ**

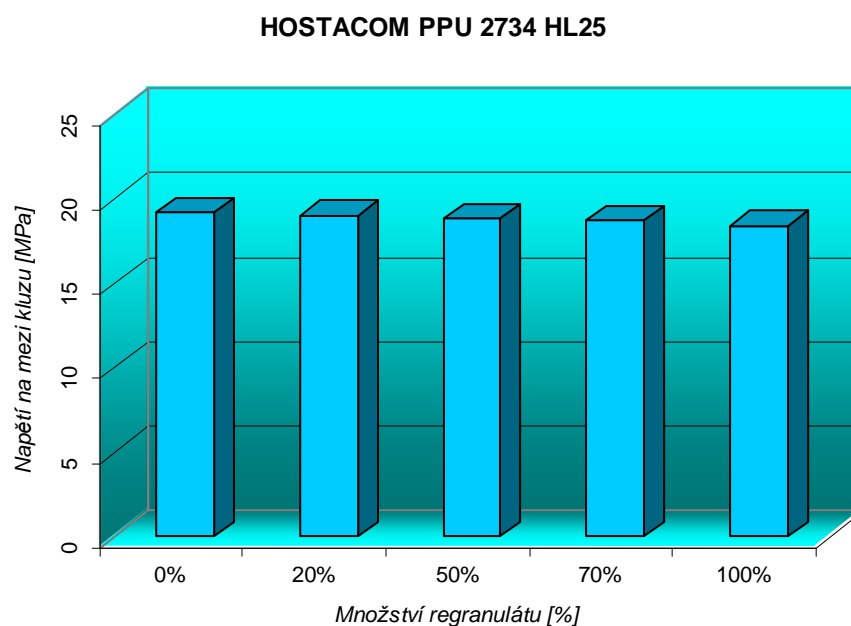
Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů v závislosti na procentuálním zastoupením regenerulátu v základních materiálech bylo stanoveno tahovou, ohybovou, rázovou zkouškou a zkouškou tvrdosti.

#### **4.1.1 VYHODNOCENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ**

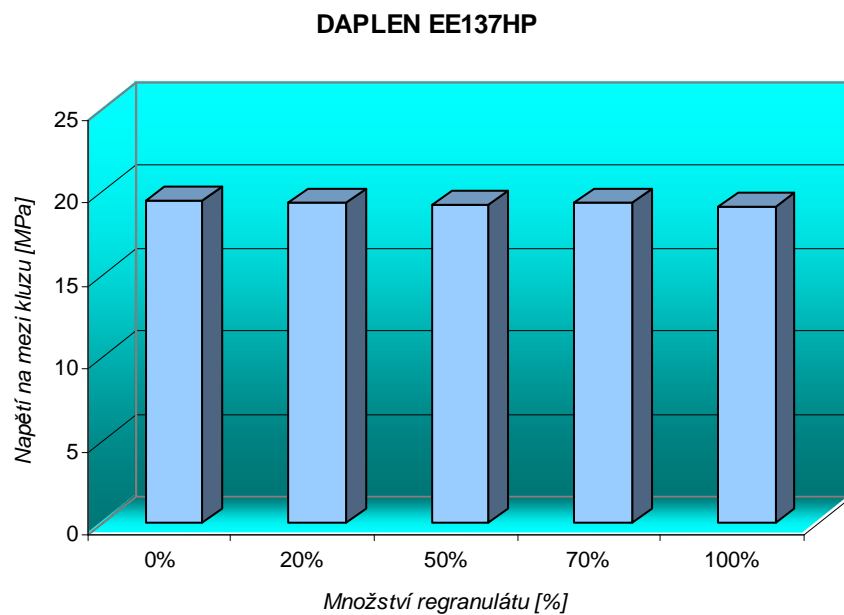
Pro stanovení a vyhodnocení tahových vlastností materiálů byla použita norma ČSN EN ISO 527-1,2. V průběhu zkoušky byla zaznamenávána závislost napětí v tahu na poměrném prodloužení a z těchto hodnot byly stanoveny hodnoty napětí na mezi kluzu a poměrné prodloužení na mezi kluzu. Tyto hodnoty jsou shodné s hodnotami na mezi pevnosti a jsou uvedeny v tab. 3.7, 3.8, 3.9 a tab. 3.10 a graficky znázorněny na obr. 4.1 až obr. 4.8. Z grafických závislostí pro vstřikované vzorky, jenž ukazují velikost maximálního napětí v tahu na množství přidávaného regenerulátu, viz obr. 4.1 až obr. 4.3 můžeme konstatovat, že u žádného z materiálů nedochází vlivem přídavku regenerulátu (až do 100%) k základnímu materiálu ke změně pevnosti. Shodný průběh vykazuje i jmenovité poměrné prodloužení na mezi kluzu (viz obr. 4.4 až obr. 4.6). Shodný závěr lze konstatovat i u vzorků z reálných dílů, což je patrné z obr. 4.7 a obr. 4.8.



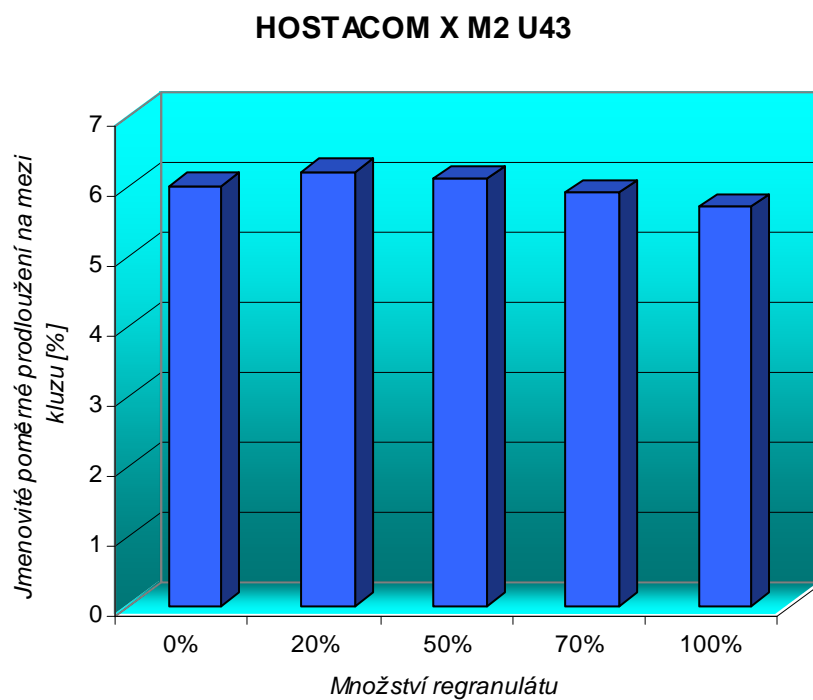
Obr. 4.1 Grafické znázornění meze pevnosti v tahu na množství regranolu  
v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstřikované vzorky



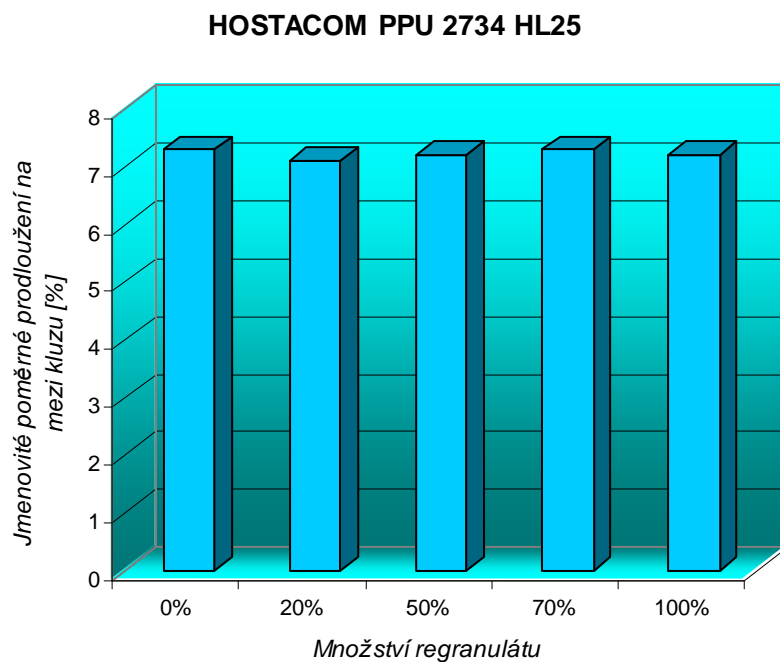
Obr. 4.2 Grafické znázornění meze pevnosti v tahu na množství regranolu  
v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované  
vzorky



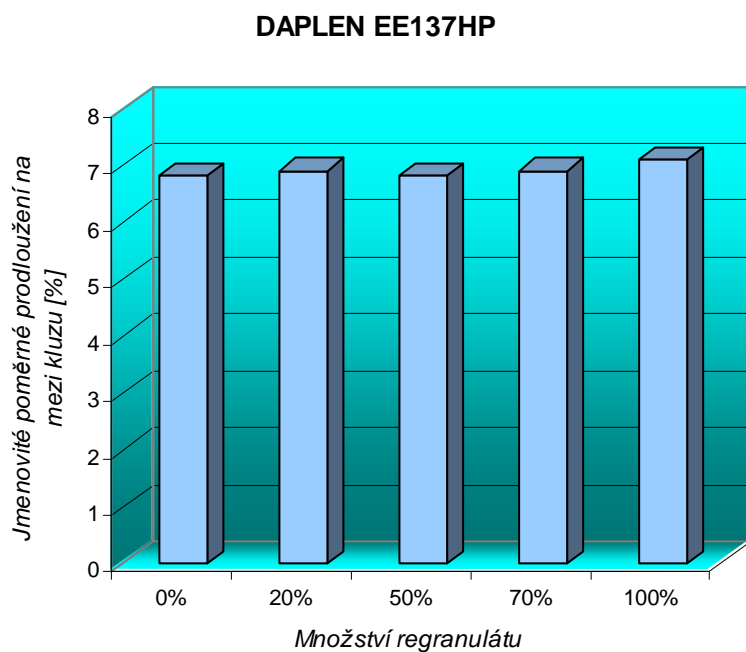
Obr. 4.3 Grafické znázornění meze pevnosti v tahu na množství regranolátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstřikované vzorky



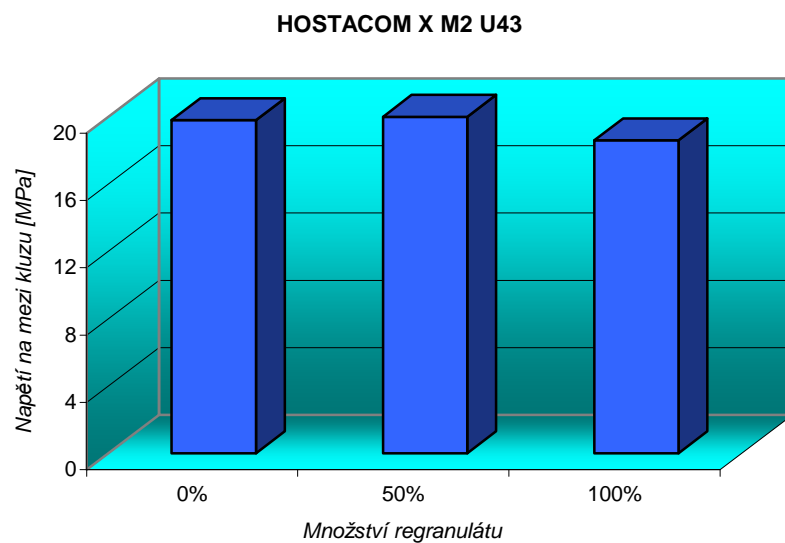
Obr. 4.4 Grafické znázornění jmenovitého poměrného prodloužení na množství regranolátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstřikované vzorky



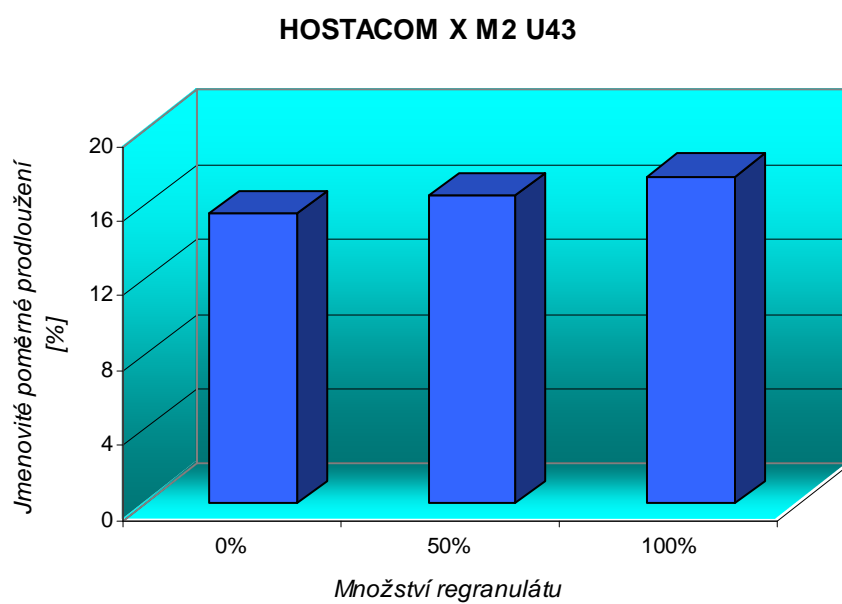
Obr. 4.5 Grafické znázornění jmenovitého poměrného prodloužení na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované vzorky



Obr. 4.6 Grafické znázornění jmenovitého poměrného prodloužení na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstřikované vzorky



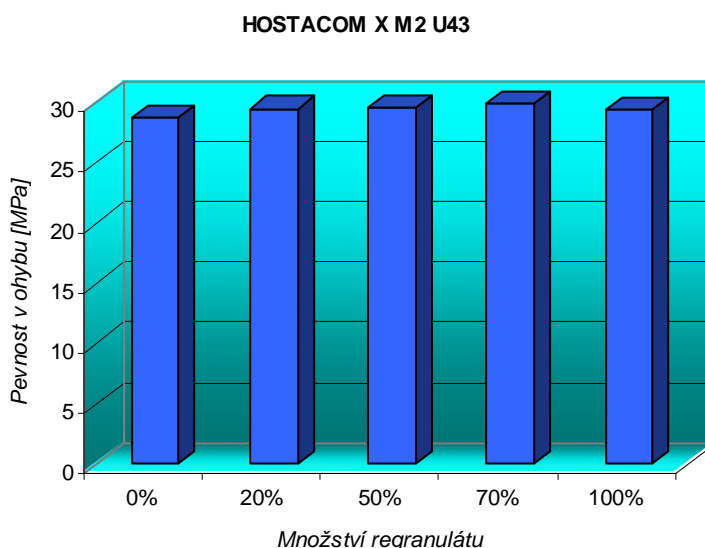
Obr. 4.7 Grafické znázornění meze pevnosti v tahu na množství regraulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů



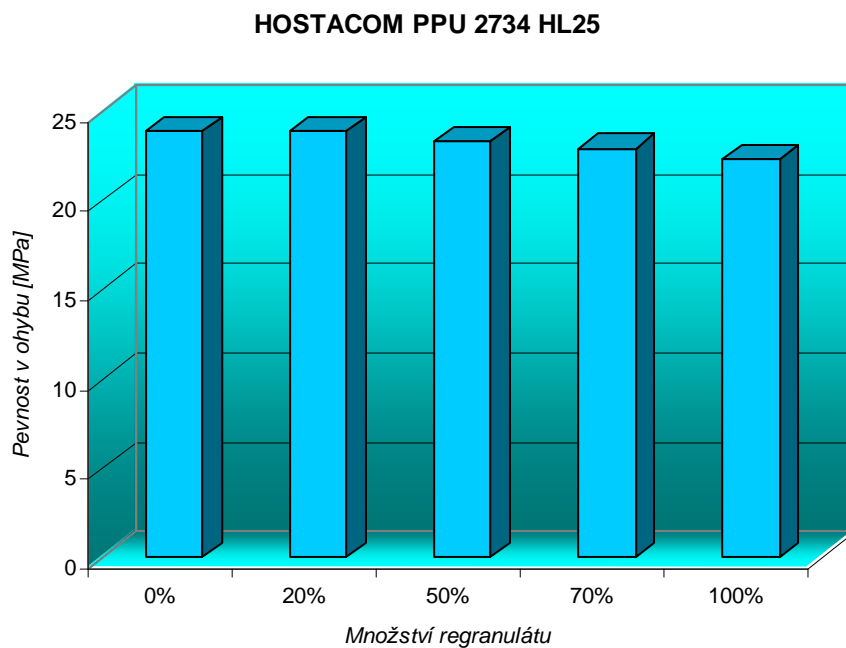
Obr. 4.8 Grafické znázornění jmenovitého poměrného prodloužení na množství regraulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů

## 4.1.2 VYHODNOCENÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ

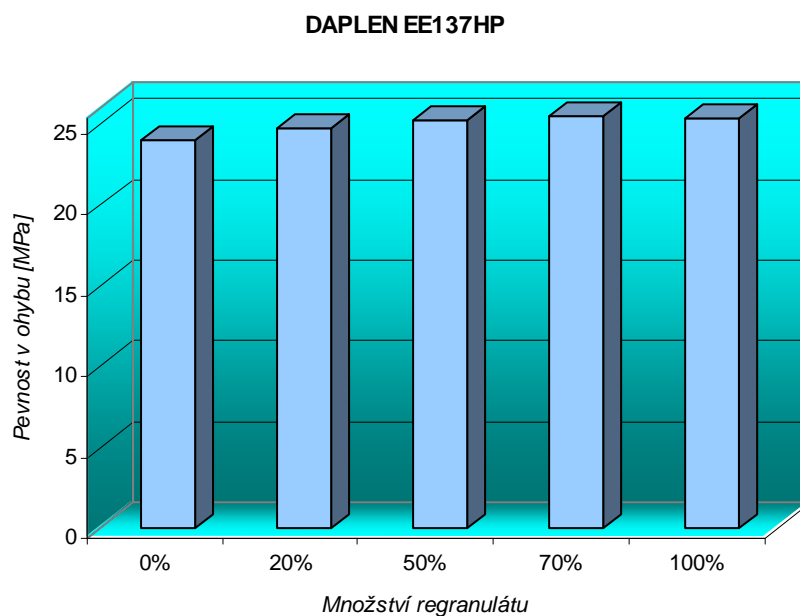
Pro stanovení a vyhodnocení ohybových vlastností materiálů byla použita norma ČSN EN ISO 178. V průběhu zkoušky byla zaznamenávána závislost napětí v ohybu na deformaci ohybem. Následně byl stanoven modul pružnosti z lineární regrese části křivky napětí v ohybu – deformace ležící mezi dvěma body odpovídající deformaci  $\varepsilon_{f1} = 0,0005\%$  a  $\varepsilon_{f2} = 0,0025\%$  (viz ISO 178, odst. 3.11, poznámka 3). Hodnoty pro vstříkované vzorky jsou pak uvedeny v tab. 3.10 až v tab. 3.12 a graficky znázorněny na obr. 4.9 až obr. 4.14. Hodnoty pro vzorky z reálných dílů jsou pak uvedeny v tab. 3.13 a graficky znázorněny na obr. 4.15 a obr. 4.16. Z grafických závislostí pro vstříkované vzorky, jež ukazují velikost pevnosti v ohybu na množství přidávaného regranulátu, viz obr. 4.9 až obr. 4.11 můžeme konstatovat, že vlivem přídavku regranulátu (až do 100%) k základnímu materiálu nedochází u žádného z materiálů ke změně pevnosti v ohybu. S ohledem na rozptyl hodnot, jež je vyjádřen směrodatnou odchylkou lze konstatovat, že přidávaný regranulát k základnímu materiálu nemá vliv ani na výsledné vlastnosti modulu pružnosti v ohybu (viz obr. 4.12 až obr. 4.14). Stejný závěr lze konstatovat i pro reálné díly (viz obr. 4.15 až obr. 4.16).



Obr. 4.9 Grafické znázornění pevnosti v ohybu na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstříkované vzorky

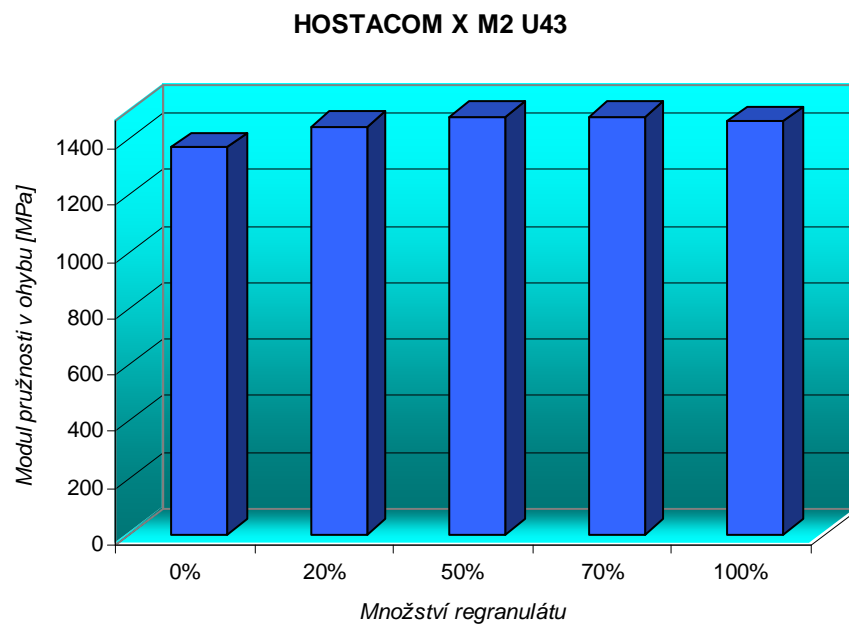


Obr. 4.10 Grafické znázornění pevnosti v ohybu na množství regranulátu  
v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované  
vzorky

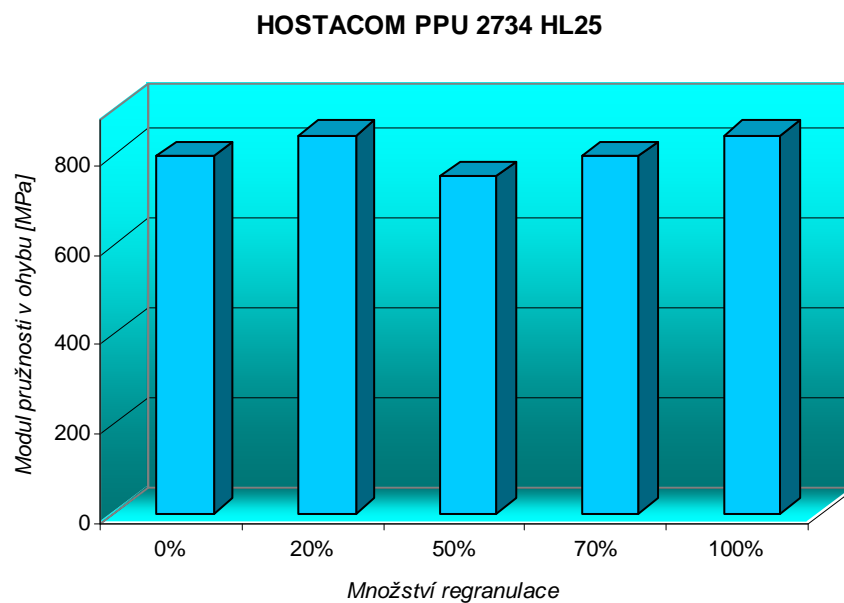


Obr. 4.11 Grafické znázornění pevnosti v ohybu na množství regranulátu  
v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstřikované vzorky

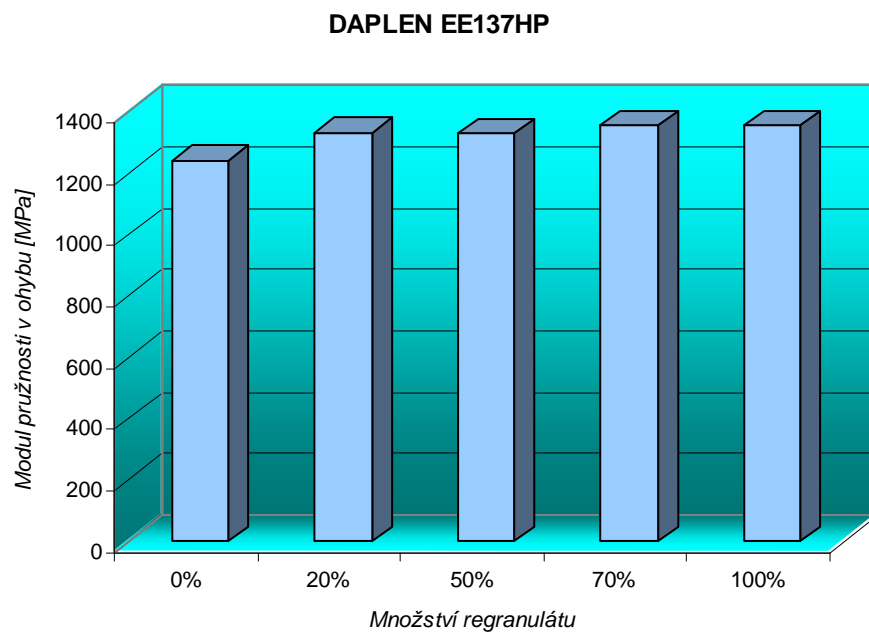




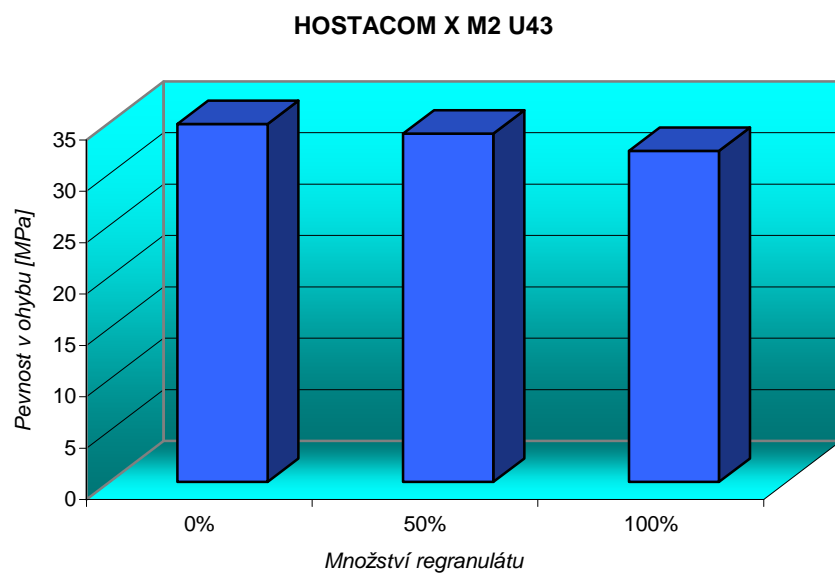
Obr. 4.12 Grafické znázornění modulu pružnosti v ohybu na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstřikované vzorky



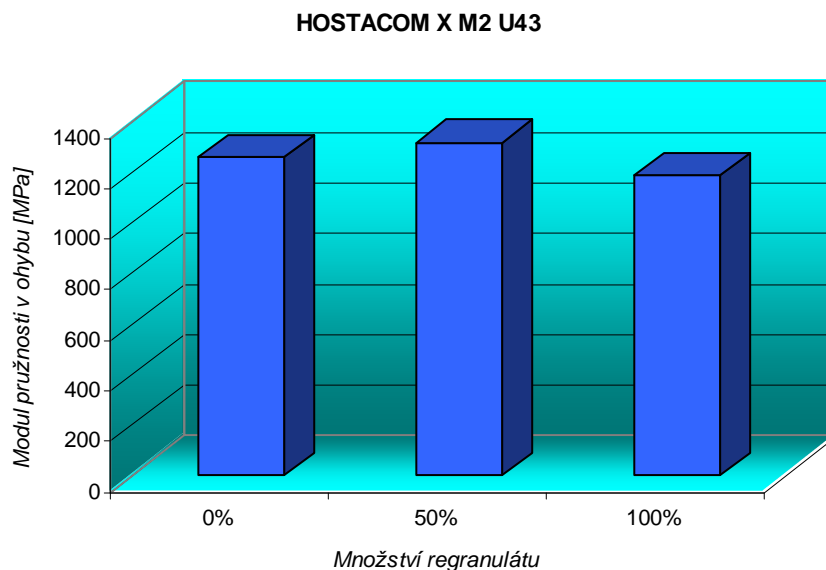
Obr. 4.13 Grafické znázornění modulu pružnosti v ohybu na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované vzorky



Obr. 4.14 Grafické znázornění modulu pružnosti v ohybu na množství regranolátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstříkované vzorky



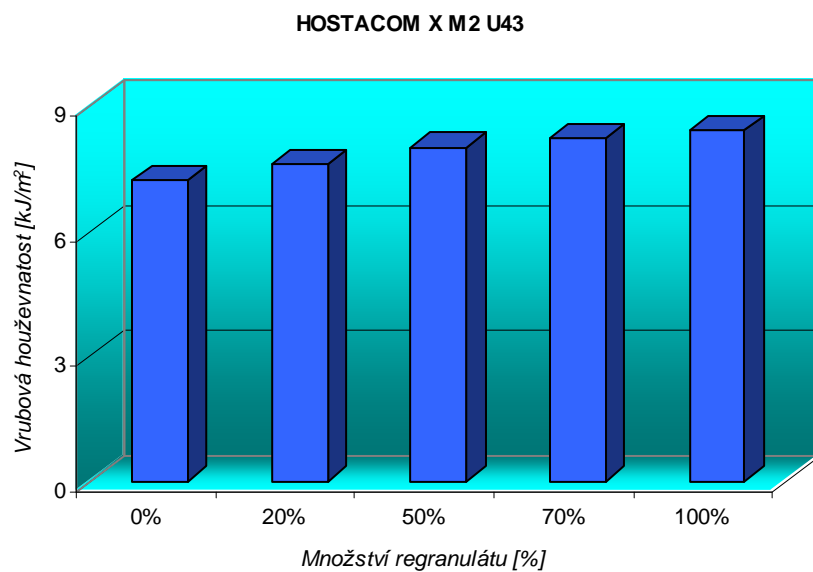
Obr. 4.15 Grafické znázornění pevnosti v ohybu na množství regranolátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů



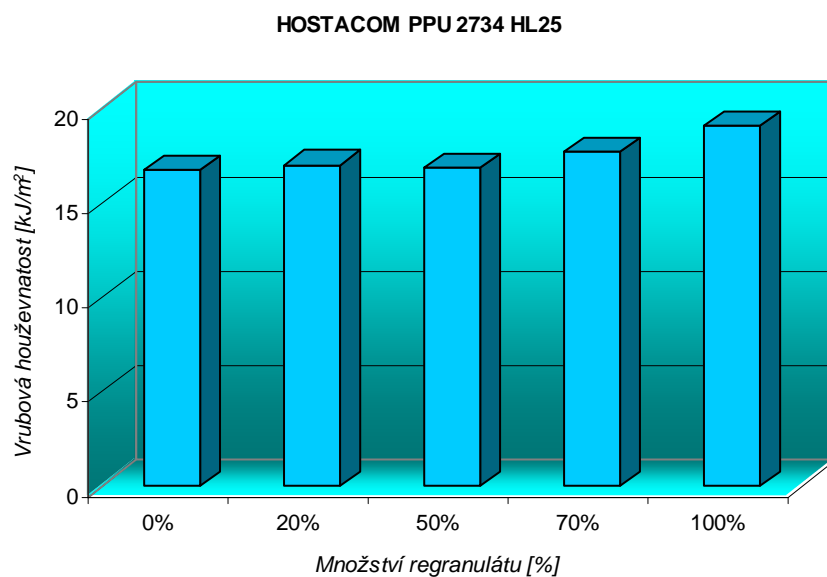
Obr. 4.16 Grafické znázornění modulu pružnosti v ohybu na množství regranolu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů

### 4.1.3 VYHODNOCENÍ VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI

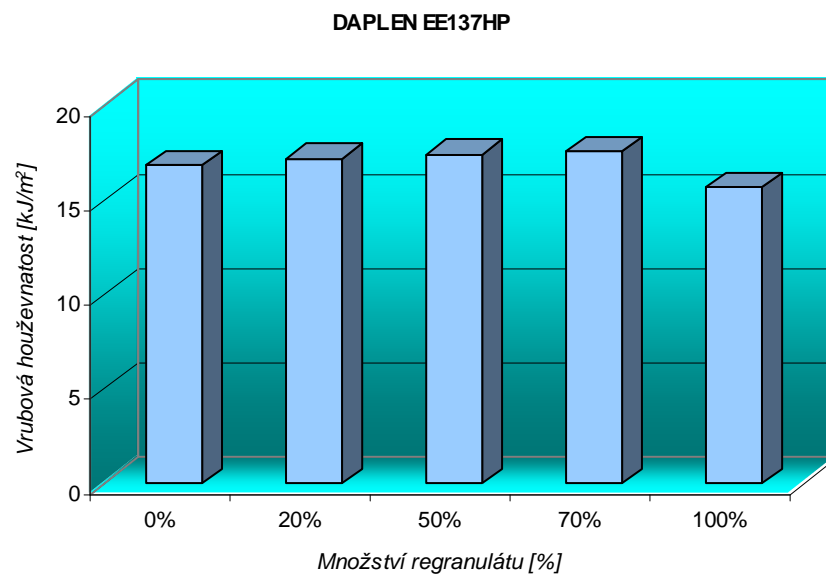
Vyhodnocení vrubové houževnatosti na zkušebních tělesech jenž byly opatřeny normalizovaným vrubem typu A je provedeno dle ČSN EN ISO 179. Výsledné průměrné hodnoty vrubové houževnatosti vstřikovaných vzorků v závislosti na procentuálním zastoupení regranolu v jednotlivých základních materiálech jsou uvedeny v tab. 3.15 až tab. 3.17 a graficky znázorněny na obr. 4.17 až obr. 4.19. Výsledné průměrné hodnoty vrubové houževnatosti vzorků z reálných dílů v závislosti na procentuálním zastoupení regranolu v materiálu HOSTACOM X M2 U43 jsou pak uvedeny v tab. 3.18 a graficky znázorněny na obr. 4.20. Z grafických závislostí a naměřených hodnot pro všechny vstřikované vzorky je vidět, že množství regranolu nemá výraznější vliv na výslednou vrubovou houževnatost. Naopak z grafické závislosti a naměřených hodnot pro vzorky z reálných dílů je patrné, že u vzorků ze 100% regranolu dochází k ovlivnění vrubové houževnatosti, avšak s přihlédnutím na rozptyl hodnot, jenž je vyjádřen směrodatnou odchylkou by bylo zapotřebí pro lepší přesnost provést měření na vyšším počtu zkušebních vzorků.



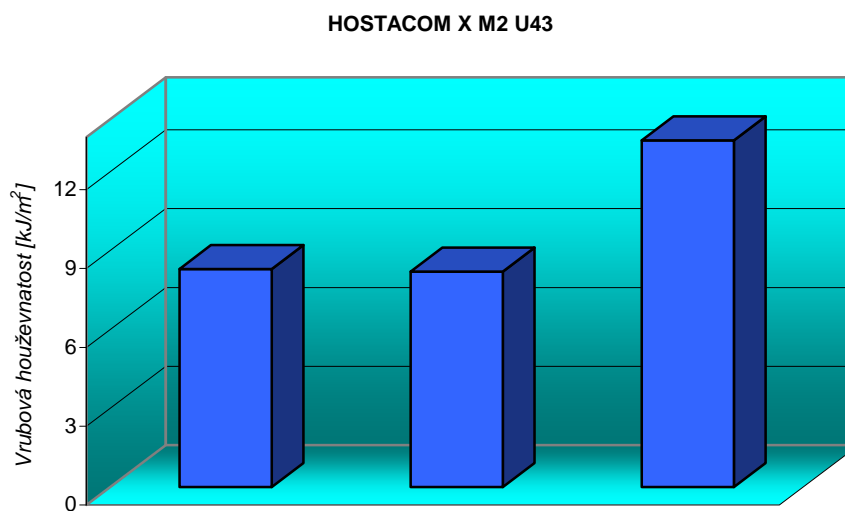
Obr. 4.17 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstřikované vzorky



Obr. 4.18 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované vzorky



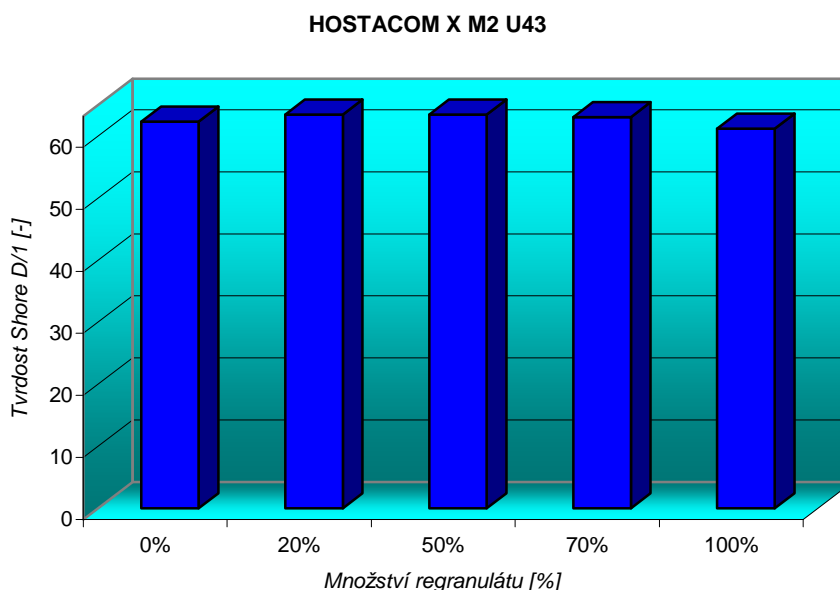
Obr. 4.19 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstřikované vzorky



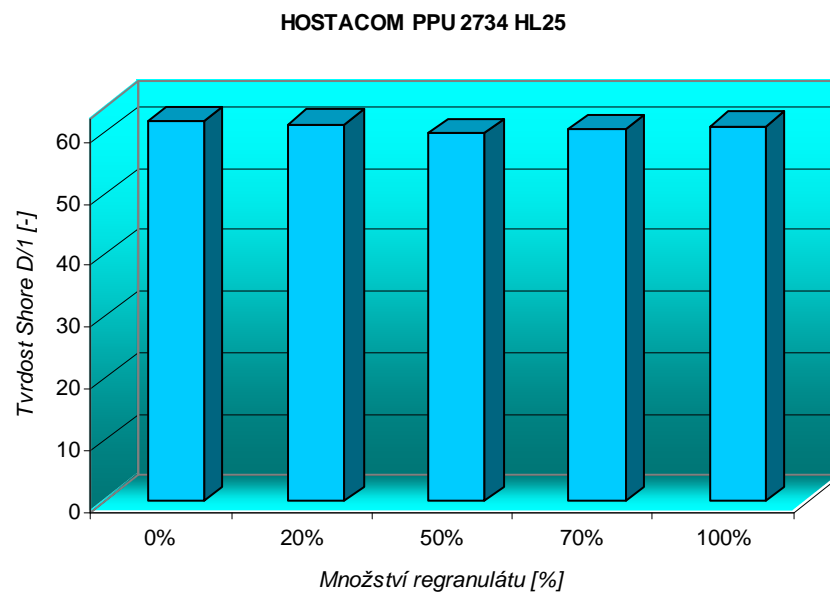
Obr. 4.20 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů

#### 4.1.4 VYHODNOCENÍ TVRDOSTI SHORE D

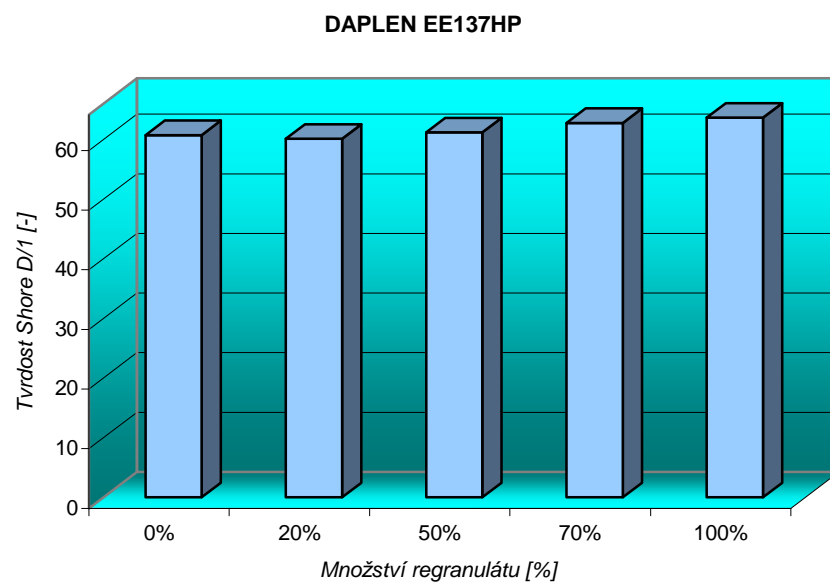
Posledním vyhodnocením z mechanických zkoušek je vyhodnocení tvrdosti dle ČSN EN ISO 868. Zkouška byla prováděna na digitálním tvrdoměru Shore typu D jenž slouží pro měření tvrdších materiálů. Pro každou šarži daného materiálu, jak vstříkovaných těles tak těles z reálného dílu, byla stanovena tvrdost na počátku vtlačení hrotu. Hodnoty naměřené na vstříkovaných vzorcích jsou uvedeny v tab. 3.19 až tab. 3.21 a graficky znázorněny na obr. 4.21 až obr. 4.23, hodnoty naměřené na vzorcích z reálných dílů jsou pak uvedeny v tab. 3.22 a graficky znázorněny na obr. 4.24. Z obr. 4.21 až obr. 4.23 jenž ukazují grafické závislosti tvrdosti na množství regranulátu vstříkovaných vzorků daných materiálů je patrné, že přidávané množství regranulátu nemá významnější vliv na výslednou tvrdost. Tento fakt lze konstatovat i u vzorků z reálných dílů, což je patrné i z obr. 4.24.



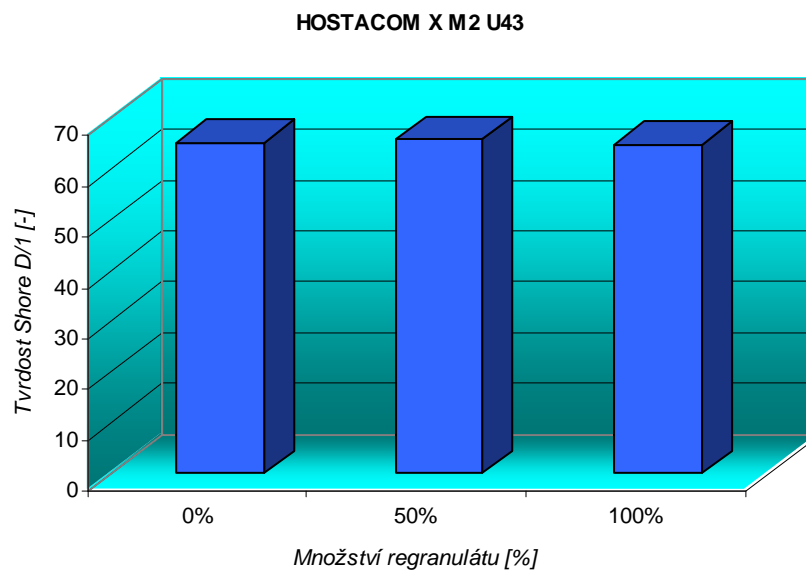
Obr. 4.21 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vstříkované vzorky



Obr. 4.22 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25 pro vstřikované vzorky



Obr. 4.23 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP pro vstřikované vzorky

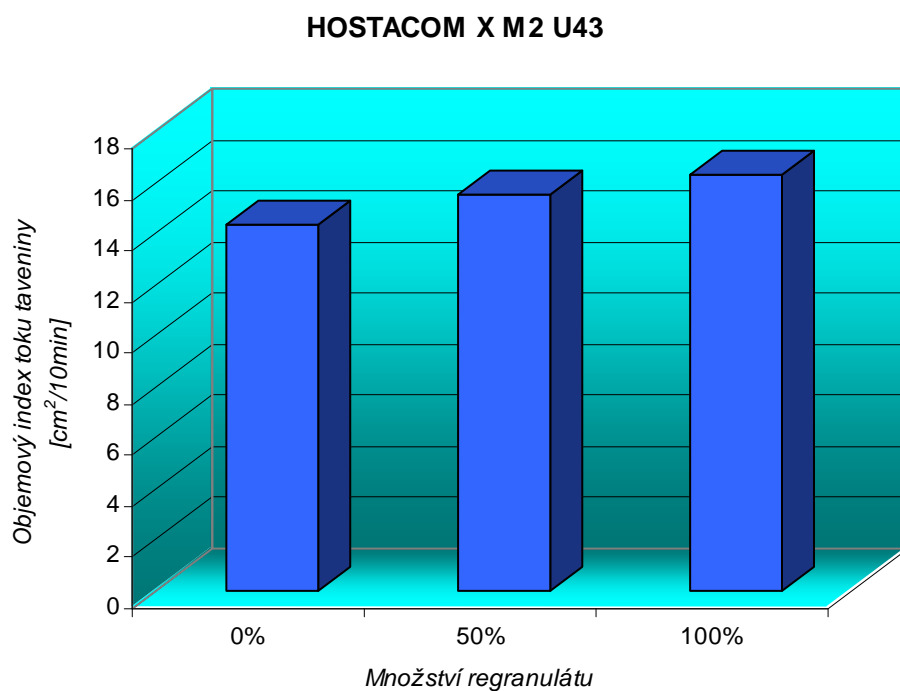


Obr. 4.24 Grafické znázornění vrubové houževnatosti na množství regranulátu  
v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43 pro vzorky z reálných dílů

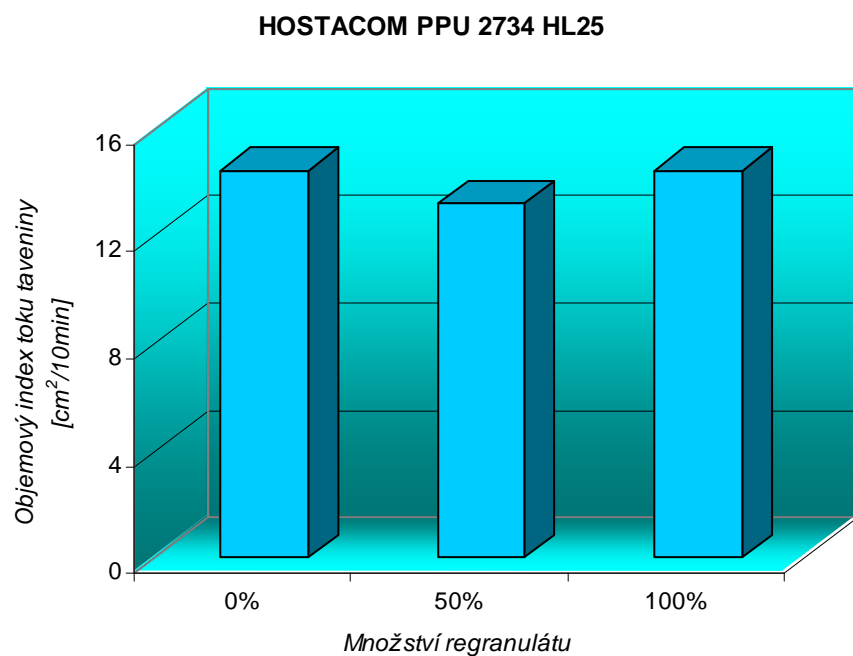
## 4.2 VYHODNOCENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU

Posledním důležitým krokem pro vyhodnocení zpracovatelnosti tavenin plastů je vyhodnocení reologického chování taveniny v závislosti na množství přidávaného regranulátu k základnímu materiálu. Pro vyhodnocení reologického chování byla použita zkouška objemového indexu toku taveniny dle ČSN EN ISO 1133. Výsledné průměrné hodnoty objemového indexu toku taveniny v závislosti na množství regranulátu v jednotlivých materiálech jsou uvedeny v tab. 3.23 až tab. 3.25 a graficky znázorněny na obr. 4.25 až obr. 4.27. Z obr. 4.25 a obr. 4.27 je patrné, že přidávané množství regranulátu vede nepatrně ke zvýšení objemového indexu toku taveniny, avšak u žádného z materiálů nedošlo k překročení intervalu hodnot typických pro základní materiály dle materiálové specifikace a v tomto ohledu je tato hodnota vždy v rozmezí udávaném výrobcem pro základní materiál.

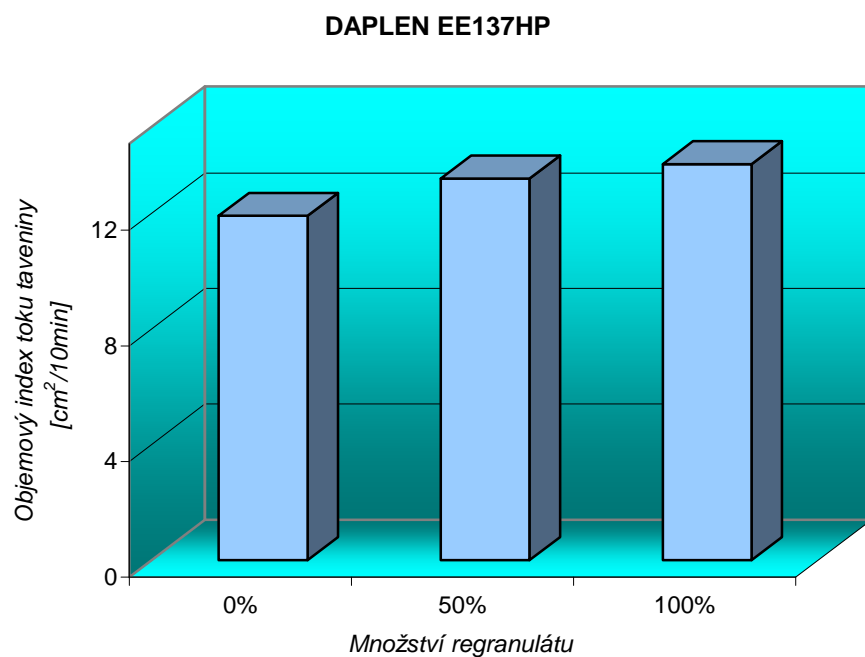




Obr. 4.25 Grafické znázornění objemového indexu toku taveniny na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM X M2 U43



Obr. 4.26 Grafické znázornění objemového indexu toku taveniny na množství regranulátu v základním materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25



Obr. 4.26 Grafické znázornění objemového indexu toku taveniny na množství regranulátu v základním materiálu DAPLEN EE137HP

## 5 ZÁVĚR

Automobilový průmysl je v dnešní době rozhodujícím průmyslovým odvětvím zejména v rozvinutých zemích světa. Statistiky uvádí, že na výrobu jednoho auta se spotřebuje 1500 kg kvalitních materiálů a globálně se na výrobu automobilů spotřebuje ročně kolem 90 mil. tun. Tato spotřeba by měla klesat asi na 79 mil. tun kolem roku 2020 s tím, že by se mělo vyrábět zhruba dvakrát více automobilů.

Zatímco se dříve řešila otázka recyklovatelnosti jen z hlediska jednotlivých dílů, nyní se k nim už přistupuje systematicky při konstrukci. Každý návrh auta má už dnes zabudovanou ekonomiku recyklace. Do roku 2015 by běžné auto mělo být recyklovatelné nejméně na 90% a trend do budoucna naznačuje, že by měl výrobce dostat licenci na výrobu automobilů od státu jen tehdy, když jeho výrobek bude plně recyklovatelný. Tyto aspekty jasně ukazují, proč se výrobci automobilů v současné době velmi zabývají recyklací.

Nedílnou součástí na této spotřebě tvoří i plasty. Každé auto je tvořeno asi 11% plastových výrobků což vede výrobce plastových dílů k využití odpadu nebo zmetkových dílů pro výrobu dílů nových [9].

Toto využití odpadu bylo cílem této diplomové práce, která hodnotila vliv přidávaného regranulátu do panenského materiálu a to jak na tělesech vstřikovaných tak na tělesech odebraných z reálného dílu. Zkoušky byly prováděny na třech polypropylenových materiálech (HOSTACOM X M2 U43, HOSTACOM PPU 2734 HL25 a DAPLEN EE137HP), jenž se používají jako materiály pro výrobu interiérových dílů do automobilů. To sebou nese vysoké nároky na výrobek, což jsou mimo jiné i velmi dobré mechanické vlastnosti a tudíž bylo zapotřebí zjistit, do jaké míry jsou ovlivňovány mechanické vlastnosti těchto materiálů zvyšujícím se procentuálním množstvím regranulátu v panenském materiálu.

Experimentální měření bylo provedeno na všech třech polypropylenových materiálech a to na vzorcích vstřikovaných ze základních materiálů, s obsahem 20%, 50% a 70% regranulátu, na vzorcích vstřikovaných z čistých regranulátů a také na vzorcích jež byly u polypropylenu HOSTACOM X M2 U43 zhotoveny z reálných dílů, které byly vstřikovány v reálných podmínkách ve firmě Grupo Antolin Turnov s.r.o a to z dílů, jenž byly vstřikovány ze základního materiálu, s obsahem 50% regranulátu a z čistého regranulátu.

Z experimentálního měření je zřejmé, že přidávané množství ragranulátu nemá vliv na tahové vlastnosti. Žádných změn, vlivem přidávaného množství ragranulátu, nebylo dosaženo i u ohybových vlastností, konkrétně u pevnosti v ohybu. S přihlédnutím na rozptyl hodnot, jenž vyjadřuje směrodatná odchylka můžeme konstatovat, že ani u modulu pružnosti v ohybu nebylo zaznamenáno nějakých změn. Co se týče rázových vlastností, zde lze konstatovat, že vrubová houževnatost není ovlivněna množstvím regranulátu v základním materiálu. Stejně konstatování platí i pro reálné díly, avšak jen do 50% regranulátu v základním materiálu u 100% dochází k strmému nárůstu vrubové houževnatosti. Dále bylo také zjištěno, že množství regranulátu nemá žádný vliv na tvrdost materiálu. Jako poslední byl zjišťován vliv přidávaného množství regranulátu na reologické vlastnosti. Zde bylo zjištěno mírné zvýšení objemového indexu toku taveniny s přibývajícím množstvím regranulátu ale u žádného materiálu nedošlo k překročení intervalu hodnot dle materiálové specifikace.

Na závěr lze konstatovat, že z této studie vyplývá, že při používání regranulátu do 50% nedochází k zásadnímu ovlivnění námi zkoumaných fyzikálně mechanických vlastností. Bylo by však dobré v této diplomové práci pokračovat a provést další zkoušky, jako např. zjištění výrobního smrštění a jiné. Dále by bylo dobré se zabývat již zmiňovanou problematikou opakované recyklace, kde studie (viz kap. 2.5.1) ukazují výrazné zhoršení fyzikálně-mechanických vlastností při opakované recyklaci (regranulaci).

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://www.plasticseurope.org>
- [2] <http://technik.ihned.cz>
- [3] <http://www.bfr.bund.de>
- [4] <http://www.vke.de>
- [5] <http://www.ksp.tul.cz>
- [6] <http://www.eia.doe.gov>
- [7] <http://zlomropy.blogspot.com>
- [8] SOVA, M., KREBS, J.: *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele plastů*. Praha: Verlag Dashöfer Nakladatelství spol. s.r.o. v Praze, 1999-2004, ISBN 80-86229-15-7.
- [9] <http://envi.upce.cz>
- [10] KREBS, J.: *Teorie a technologie zpracování plastů*. Liberec: TU v Liberci, 1981. ISBN 55-823-80
- [11] LENFELD, P.: *Technologie II (Zpracování plastů)*. Liberec: VŠST v Liberci. ISBN 80-7372-037-X
- [12] <http://www.erema.net>
- [13] <http://www.zerma.com>
- [14] MIKOLÁŠ, J.: *Recyklace průmyslových odpadů*. Praha: Nakladatelství technické literatury v Praze, 1988. ISBN 04-833-87
- [15] Serier, M.; Boudissa, N.; Serier, A.: *Degradation induced by recycling process of Polypropylene*. Collegue SFμ. Grenoble, 2007
- [16] <http://www.ul-asia.com>
- [17] Materiálový list polymeru HOSTACOM X M2 U43
- [18] Materiálový list polymeru HOSTACOM PPU 2734 HL25
- [19] Materiálový list polymeru DAPLEN EE137HP
- [20] Interní materiály firmy Grupo Antolin Turnov

- [21] ČSN EN ISO 527-1
- [22] ČSN EN ISO 178
- [23] ČSN EN ISO 179-1
- [24] ČSN EN ISO 868
- [25] ČSN EN ISO 1133

## **PŘÍLOHY**

### **diplomové práce**

*Příloha 1:* Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky tahem

*Příloha 2:* Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky ohybem

*Příloha 3:* Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky vrubové houževnatosti

*Příloha 4:* Naměřené dílčí hodnoty zkouškou tvrdosti

*Příloha 5:* Naměřené dílčí hodnoty z objemového indexu toku taveniny

## Příloha 1: Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky tahem

Tab. A1 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43			
	$\sigma_v = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{tv} = \varepsilon_{tM}$ [%]	$\sigma_v = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{tv} = \varepsilon_{tM}$ [%]
Vzorek č.	0%		20%	
1	21,1	5,8	21,5	6,1
2	20,7	6,0	21,0	6,0
3	20,9	6,1	21,4	6,2
4	20,6	5,8	21,5	6,3
5	21,2	6,3	21,5	6,3
Průměrná hodnota	<b>20,9 ± 0,2</b>	<b>6,0 ± 0,1</b>	<b>21,4 ± 0,1</b>	<b>6,2 ± 0,1</b>
Vzorek č.	50%		70%	
1	21,5	6,0	21,3	5,9
2	21,7	6,3	21,2	6,1
3	21,8	6,4	21,5	6,2
4	21,5	6,3	21,4	5,4
5	21,5	5,7	21,1	6,1
Průměrná hodnota	<b>21,6 ± 0,1</b>	<b>6,1 ± 0,2</b>	<b>21,3 ± 0,1</b>	<b>5,9 ± 0,2</b>
Vzorek č.	100%			
1	21,3	5,8		
2	21,6	5,6		
3	21,3	5,9		
4	21,1	5,6		
5	21,4	5,6		
Průměrná hodnota	<b>21,3 ± 0,1</b>	<b>5,7 ± 0,1</b>		



Tab. A2 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

HOSTACOM PPU 2734 HL25				
	$\sigma_v = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{tv} = \varepsilon_{tM}$ [%]	$\sigma_v = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{tv} = \varepsilon_{tM}$ [%]
Vzorek č.	0%		20%	
<b>1</b>	19,3	7,2	18,8	7,1
<b>2</b>	18,5	7,3	19,0	7,1
<b>3</b>	19,4	7,3	19,0	7,0
<b>4</b>	19,3	7,0	19,1	7,2
<b>5</b>	19,3	7,4	18,9	7,1
Průměrná hodnota	<b>19,2 ± 0,3</b>	<b>7,3 ± 0,1</b>	<b>19,0 ± 0,1</b>	<b>7,1 ± 0,1</b>
Vzorek č.	50%		70%	
<b>1</b>	18,8	7,7	18,8	7,6
<b>2</b>	18,9	7,1	18,7	7,0
<b>3</b>	18,9	7,2	18,7	7,3
<b>4</b>	18,6	6,9	18,6	6,8
<b>5</b>	18,8	7,3	18,7	7,7
Průměrná hodnota	<b>18,8 ± 0,1</b>	<b>7,2 ± 0,2</b>	<b>18,7 ± 0,1</b>	<b>7,3 ± 0,3</b>
Vzorek č.	100%			
<b>1</b>	18,3	7,3		
<b>2</b>	18,4	7,0		
<b>3</b>	18,4	7,4		
<b>4</b>	18,3	7,3		
<b>5</b>	18,4	6,8		
Průměrná hodnota	<b>18,4 ± 0,1</b>	<b>7,2 ± 0,2</b>		

Tab. A3 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu DAPLEN EE137HP

	DAPLEN EE137HP			
	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{ty} = \varepsilon_{tM}$ [%]	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{ty} = \varepsilon_{tM}$ [%]
Vzorek č.	0%		20%	
1	19,3	7,1	19,3	6,7
2	19,4	6,6	19,6	7,0
3	19,6	6,6	19,2	7,1
4	19,2	6,8	19,2	6,9
5	19,4	7,0	19,3	7,0
Průměrná hodnota	<b>19,4 ± 0,1</b>	<b>6,8 ± 0,2</b>	<b>19,3 ± 0,1</b>	<b>6,9 ± 0,1</b>
Vzorek č.	50%		70%	
1	19,2	6,8	19,4	6,7
2	19,2	6,6	19,4	6,7
3	19,2	7,0	19,4	6,8
4	19,2	6,6	19,1	7,1
5	19,0	6,8	19,1	7,3
Průměrná hodnota	<b>19,2 ± 0,1</b>	<b>6,8 ± 0,1</b>	<b>19,3 ± 0,1</b>	<b>6,9 ± 0,2</b>
Vzorek č.	100%			
1	19,0	7,1		
2	19,2	7,5		
3	19,1	7,1		
4	19,3	7,0		
5	19,1	6,8		
Průměrná hodnota	<b>19,1 ± 0,1</b>	<b>7,1 ± 0,2</b>		

Tab. A4 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro vzorky z reálných dílů z materiálu HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43			
	h [mm]	b [mm]	$\sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_{tB}$ [%]
Vzorek č.	<b>0%</b>			
<b>1</b>	2,12	20,07	18,9	11,5
<b>2</b>	2,35	20,10	20,2	17,7
<b>3</b>	2,31	20,09	19,9	16,6
<b>4</b>	2,19	20,11	19,9	14,3
<b>5</b>	2,17	20,08	20,0	12,7
Průměrná hodnota			<b>19,7 ± 0,4</b>	<b>15,5 ± 2,3</b>
Vzorek č.	<b>50%</b>			
<b>1</b>	2,24	20,12	20,2	15,6
<b>2</b>	2,25	20,12	20,8	16,1
<b>3</b>	2,21	20,12	20,1	16,7
<b>4</b>	2,16	20,07	19,7	19,4
<b>5</b>	2,17	20,14	19,4	14,8
Průměrná hodnota			<b>20,0 ± 0,5</b>	<b>16,5 ± 1,5</b>
Vzorek č.	<b>100%</b>			
<b>1</b>	2,17	20,11	18,5	16,1
<b>2</b>	2,30	20,12	19,3	21,1
<b>3</b>	2,38	20,13	18,2	19,5
<b>4</b>	2,16	20,12	18,8	15,8
<b>5</b>	2,31	20,14	17,7	15,2
Průměrná hodnota			<b>18,5 ± 0,5</b>	<b>17,5 ± 2,3</b>

## Příloha 2: Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky ohybem

Tab. A5 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro vstříkované vzorky z materiálu HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43			
	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
Vzorek č.	<b>0%</b>		<b>20%</b>	
<b>1</b>	28,8	1462,7	29,5	1443,7
<b>2</b>	28,6	1257,9	29,4	1443,7
<b>3</b>	29,0	1374,9	29,4	1443,7
<b>4</b>	28,8	1374,9	29,4	1443,7
<b>5</b>	28,6	1374,9	29,8	1443,7
Průměrná hodnota	<b>28,7 ± 0,1</b>	<b>1369,0 ± 65,1</b>	<b>29,5 ± 0,1</b>	<b>1443,7 ± 0,0</b>
Vzorek č.	<b>50%</b>		<b>70%</b>	
<b>1</b>	29,4	1443,7	30,0	1530,3
<b>2</b>	29,4	1443,7	29,8	1530,3
<b>3</b>	30,0	1530,3	29,8	1443,7
<b>4</b>	29,4	1443,7	30,0	1530,3
<b>5</b>	29,8	1530,3	30,0	1357,1
Průměrná hodnota	<b>29,6 ± 0,2</b>	<b>1478,3 ± 42,4</b>	<b>29,9 ± 0,1</b>	<b>1478,3 ± 69,2</b>
Vzorek č.	<b>100%</b>			
<b>1</b>	29,8	1443,7		
<b>2</b>	29,6	1530,3		
<b>3</b>	29,4	1443,7		
<b>4</b>	29,2	1357,1		
<b>5</b>	29,4	1530,3		
Průměrná hodnota	<b>29,4 ± 0,2</b>	<b>1461,0 ± 64,8</b>		

Tab. A6 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro vstříkované vzorky z materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

	HOSTACOM PPU 2734 HL25			
	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
Vzorek č.	<b>0%</b>		<b>20%</b>	
<b>1</b>	23,8	750,7	24,0	866,2
<b>2</b>	23,8	750,7	23,5	866,2
<b>3</b>	23,8	750,7	24,0	866,2
<b>4</b>	24,0	866,2	23,8	866,2
<b>5</b>	23,8	866,2	23,8	750,7
Průměrná hodnota	<b>23,8 ± 0,1</b>	<b>796,9 ± 56,5</b>	<b>23,8 ± 0,1</b>	<b>843,1 ± 46,2</b>
Vzorek č.	<b>50%</b>		<b>70%</b>	
<b>1</b>	23,4	750,7	22,8	750,7
<b>2</b>	23,4	750,7	22,6	866,2
<b>3</b>	23,2	750,7	22,4	750,7
<b>4</b>	23,2	750,7	23,4	866,2
<b>5</b>	23,2	750,7	23,4	750,7
Průměrná hodnota	<b>23,2 ± 0,1</b>	<b>750,7 ± 0,0</b>	<b>22,9 ± 0,4</b>	<b>796,9 ± 56,5</b>
Vzorek č.	<b>100%</b>			
<b>1</b>	22,2	750,7		
<b>2</b>	22,3	866,2		
<b>3</b>	22,3	866,2		
<b>4</b>	22,2	866,2		
<b>5</b>	22,3	866,2		
Průměrná hodnota	<b>22,3 ± 0,1</b>	<b>843,1 ± 46,2</b>		

Tab. A7 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro vstříkované vzorky z materiálu DAPLEN EE137HP

	DAPLEN EE137HP			
	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
Vzorek č.	0%		20%	
<b>1</b>	24,0	1241,6	24,4	1357,1
<b>2</b>	24,1	1241,6	24,1	1241,6
<b>3</b>	23,8	1241,6	25,2	1357,1
<b>4</b>	23,8	1241,6	25,2	1357,1
<b>5</b>	23,8	1241,6	24,6	1357,1
Průměrná hodnota	<b>23,9 ± 0,1</b>	<b>1241,6 ± 0,0</b>	<b>24,7 ± 0,4</b>	<b>1334,0 ± 46,2</b>
Vzorek č.	50%		70%	
<b>1</b>	25,2	1443,7	25,2	1357,1
<b>2</b>	25,0	1241,6	25,8	1357,1
<b>3</b>	25,0	1357,1	25,3	1357,1
<b>4</b>	25,0	1241,6	25,3	1357,1
<b>5</b>	25,6	1357,1	25,2	1357,1
Průměrná hodnota	<b>25,1 ± 0,2</b>	<b>1328,2 ± 77,4</b>	<b>25,3 ± 0,2</b>	<b>1357,1 ± 0,0</b>
Vzorek č.	100%			
<b>1</b>	25,2	1357,1		
<b>2</b>	25,2	1357,1		
<b>3</b>	25,0	1357,1		
<b>4</b>	25,8	1357,1		
<b>5</b>	25,3	1357,1		
Průměrná hodnota	<b>25,3 ± 0,2</b>	<b>1357,1 ± 0,0</b>		

Tab. A8 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro vzorky z reálných dílů z materiálu HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43			
	h [mm]	b [mm]	$\sigma_{TM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
Vzorek č.	<b>0%</b>			
<b>1</b>	2,16	9,95	35,4	1276,1
<b>2</b>	2,18	9,67	36,0	1330,3
<b>3</b>	2,39	9,99	33,5	1088,0
<b>4</b>	2,32	9,97	34,0	1192,5
<b>5</b>	2,22	9,65	35,2	1405,9
Průměrná hodnota			<b>34,8 ± 0,9</b>	<b>1258,5 ± 110,1</b>
Vzorek č.	<b>50%</b>			
<b>1</b>	2,30	10,1	33,7	1180,1
<b>2</b>	2,24	9,99	33,3	1333,8
<b>3</b>	2,16	9,94	34,6	1421,3
<b>4</b>	2,26	9,79	35,2	1356,7
<b>5</b>	2,29	9,56	32,7	1296,0
Průměrná hodnota			<b>33,9 ± 0,8</b>	<b>1317,5 ± 79,8</b>
Vzorek č.	<b>100%</b>			
<b>1</b>	2,21	9,91	32,2	1065,6
<b>2</b>	2,12	9,97	31,8	1279,1
<b>3</b>	2,20	9,82	31,7	1165,6
<b>4</b>	2,18	9,94	32,5	1233,3
<b>5</b>	2,13	10,01	32,6	1198,5
Průměrná hodnota			<b>32,1 ± 0,3</b>	<b>1188,4 ± 72,0</b>

### Příloha 3: Naměřené dílčí hodnoty ze zkoušky vrubové houževnatosti

Tab. A9 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM X M2 U43

Vzorek č.	HOSTACOM X M2 U43					
	$E_C$ [J]	$a_{CA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$E_C$ [J]	$a_{CA}$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]
0%			20%			
1	0,21	6,6	$2,9 \pm 10\%$	0,26	8,4	$2,9 \pm 10\%$
2	0,24	7,6	$2,9 \pm 10\%$	0,24	7,5	$2,9 \pm 10\%$
3	0,22	7,0	$2,9 \pm 10\%$	0,25	7,9	$2,9 \pm 10\%$
4	0,23	7,4	$2,9 \pm 10\%$	0,23	7,2	$2,9 \pm 10\%$
5	0,25	7,8	$2,9 \pm 10\%$	0,23	7,3	$2,9 \pm 10\%$
6	0,22	6,9	$2,9 \pm 10\%$	0,25	7,8	$2,9 \pm 10\%$
7	0,23	7,3	$2,9 \pm 10\%$	0,22	6,9	$2,9 \pm 10\%$
8	0,23	7,3	$2,9 \pm 10\%$	0,27	8,5	$2,9 \pm 10\%$
9	0,23	7,1	$2,9 \pm 10\%$	0,24	7,5	$2,9 \pm 10\%$
10	0,23	7,4	$2,9 \pm 10\%$	0,24	7,6	$2,9 \pm 10\%$
Průměr	<b><math>0,22 \pm 0,01</math></b>	<b><math>7,2 \pm 0,3</math></b>		<b><math>0,24 \pm 0,01</math></b>	<b><math>7,6 \pm 0,4</math></b>	
Vzorek č.	50%			70%		
1	0,28	8,7	$2,9 \pm 10\%$	0,27	8,4	$2,9 \pm 10\%$
2	0,25	7,9	$2,9 \pm 10\%$	0,26	8,3	$2,9 \pm 10\%$
3	0,26	8,1	$2,9 \pm 10\%$	0,27	8,5	$2,9 \pm 10\%$
4	0,26	8,3	$2,9 \pm 10\%$	0,25	8,0	$2,9 \pm 10\%$
5	0,26	8,2	$2,9 \pm 10\%$	0,26	8,3	$2,9 \pm 10\%$
6	0,25	8,0	$2,9 \pm 10\%$	0,26	8,3	$2,9 \pm 10\%$
7	0,24	7,7	$2,9 \pm 10\%$	0,27	8,5	$2,9 \pm 10\%$
8	0,26	8,1	$2,9 \pm 10\%$	0,25	7,9	$2,9 \pm 10\%$
9	0,24	7,5	$2,9 \pm 10\%$	0,25	8,0	$2,9 \pm 10\%$
10	0,25	7,9	$2,9 \pm 10\%$	0,26	8,2	$2,9 \pm 10\%$
Průměr	<b><math>0,25 \pm 0,01</math></b>	<b><math>8,0 \pm 0,3</math></b>		<b><math>0,26 \pm 0,01</math></b>	<b><math>8,2 \pm 0,1</math></b>	
Vzorek č.	100%					
1	0,28	8,9	$2,9 \pm 10\%$			
2	0,27	8,6	$2,9 \pm 10\%$			
3	0,27	8,5	$2,9 \pm 10\%$			
4	0,27	8,6	$2,9 \pm 10\%$			
5	0,27	8,6	$2,9 \pm 10\%$			
6	0,26	8,3	$2,9 \pm 10\%$			
7	0,27	8,6	$2,9 \pm 10\%$			
8	0,25	8,0	$2,9 \pm 10\%$			
9	0,25	8,0	$2,9 \pm 10\%$			
10	0,27	8,4	$2,9 \pm 10\%$			
Průměr	<b><math>0,26 \pm 0,01</math></b>	<b><math>8,4 \pm 0,2</math></b>				



Tab. A10 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

Vzorek č.	HOSTACOM PPU 2734 HL25					
	E <sub>C</sub> [J]	a <sub>CA</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	E <sub>C</sub> [J]	a <sub>CA</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
	0%			20%		
1	0,58	18,15	2,9 ± 10%	0,54	16,96	2,9 ± 10%
2	0,56	17,62	2,9 ± 10%	0,52	16,37	2,9 ± 10%
3	0,58	18,15	2,9 ± 10%	0,44	13,93	2,9 ± 10%
4	0,52	16,37	2,9 ± 10%	0,54	16,96	2,9 ± 10%
5	0,50	15,87	2,9 ± 10%	0,44	13,93	2,9 ± 10%
6	0,50	15,75	2,9 ± 10%	0,58	18,15	2,9 ± 10%
7	0,63	19,81	2,9 ± 10%	0,63	19,81	2,9 ± 10%
8	0,45	14,18	2,9 ± 10%	0,62	19,25	2,9 ± 10%
9	0,46	14,65	2,9 ± 10%	0,53	16,52	2,9 ± 10%
10	0,53	16,45	2,9 ± 10%	0,57	17,96	2,9 ± 10%
Průměr	<b>0,53 ± 0,05</b>	<b>16,7 ± 1,6</b>		<b>0,54 ± 0,06</b>	<b>16,9 ± 1,8</b>	
Vzorek č.	50%			70%		
1	0,54	17,15	2,9 ± 10%	0,50	15,84	2,9 ± 10%
2	0,53	16,85	2,9 ± 10%	0,62	19,27	2,9 ± 10%
3	0,59	18,50	2,9 ± 10%	0,47	14,85	2,9 ± 10%
4	0,47	14,82	2,9 ± 10%	0,50	15,84	2,9 ± 10%
5	0,62	19,27	2,9 ± 10%	0,56	17,62	2,9 ± 10%
6	0,57	17,96	2,9 ± 10%	0,63	19,87	2,9 ± 10%
7	0,62	19,27	2,9 ± 10%	0,63	19,87	2,9 ± 10%
8	0,46	14,64	2,9 ± 10%	0,53	16,85	2,9 ± 10%
9	0,52	16,28	2,9 ± 10%	0,56	17,65	2,9 ± 10%
10	0,44	13,93	2,9 ± 10%	0,60	18,84	2,9 ± 10%
Průměr	<b>0,53 ± 0,06</b>	<b>16,8 ± 1,8</b>		<b>0,56 ± 0,05</b>	<b>17,6 ± 1,7</b>	
Vzorek č.	100%					
1	0,70	21,93	2,9 ± 10%			
2	0,45	14,12	2,9 ± 10%			
3	0,67	21	2,9 ± 10%			
4	0,54	17,15	2,9 ± 10%			
5	0,69	21,81	2,9 ± 10%			
6	0,62	19,27	2,9 ± 10%			
7	0,7	21,93	2,9 ± 10%			
8	0,57	17,93	2,9 ± 10%			
9	0,45	14,12	2,9 ± 10%			
10	0,67	21,00	2,9 ± 10%			
Průměr	<b>0,60 ± 0,09</b>	<b>19,0 ± 2,9</b>				

Tab. A11 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro vstřikované vzorky z materiálu DAPLEN EE137HP

Vzorek č.	DAPLEN EE137HP					
	E <sub>C</sub> [J]	a <sub>CA</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	E <sub>C</sub> [J]	a <sub>CA</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
	0%			20%		
1	0,53	16,8	2,9 ± 10%	0,55	17,2	2,9 ± 10%
2	0,53	16,8	2,9 ± 10%	0,53	16,8	2,9 ± 10%
3	0,48	15,0	2,9 ± 10%	0,58	18,1	2,9 ± 10%
4	0,56	17,5	2,9 ± 10%	0,52	16,3	2,9 ± 10%
5	0,49	15,5	2,9 ± 10%	0,53	16,8	2,9 ± 10%
6	0,53	16,7	2,9 ± 10%	0,61	19,0	2,9 ± 10%
7	0,54	17,0	2,9 ± 10%	0,56	17,5	2,9 ± 10%
8	0,59	18,5	2,9 ± 10%	0,55	17,1	2,9 ± 10%
9	0,54	16,9	2,9 ± 10%	0,52	16,3	2,9 ± 10%
10	0,57	17,8	2,9 ± 10%	0,55	17,3	2,9 ± 10%
Průměr	<b>0,54 ± 0,03</b>	<b>16,8 ± 0,9</b>		<b>0,55 ± 0,02</b>	<b>17,2 ± 0,7</b>	
Vzorek č.	50%			70%		
1	0,55	17,1	2,9 ± 10%	0,62	19,4	2,9 ± 10%
2	0,55	17,1	2,9 ± 10%	0,58	18,1	2,9 ± 10%
3	0,51	16,1	2,9 ± 10%	0,54	17,0	2,9 ± 10%
4	0,59	18,5	2,9 ± 10%	0,57	18,0	2,9 ± 10%
5	0,55	17,2	2,9 ± 10%	0,60	18,8	2,9 ± 10%
6	0,57	18,0	2,9 ± 10%	0,55	17,1	2,9 ± 10%
7	0,53	16,7	2,9 ± 10%	0,50	15,7	2,9 ± 10%
8	0,58	18,2	2,9 ± 10%	0,57	17,8	2,9 ± 10%
9	0,56	17,5	2,9 ± 10%	0,52	16,3	2,9 ± 10%
10	0,56	17,6	2,9 ± 10%	0,55	17,3	2,9 ± 10%
Průměr	<b>0,55 ± 0,02</b>	<b>17,4 ± 0,6</b>		<b>0,56 ± 0,03</b>	<b>17,6 ± 1,0</b>	
Vzorek č.	100%					
1	0,44	14,0	2,9 ± 10%			
2	0,51	15,9	2,9 ± 10%			
3	0,49	15,3	2,9 ± 10%			
4	0,49	15,4	2,9 ± 10%			
5	0,46	14,5	2,9 ± 10%			
6	0,45	14,3	2,9 ± 10%			
7	0,57	18,0	2,9 ± 10%			
8	0,51	16,1	2,9 ± 10%			
9	0,51	15,9	2,9 ± 10%			
10	0,56	17,6	2,9 ± 10%			
Průměr	<b>0,50 ± 0,04</b>	<b>15,7 ± 1,2</b>				

Tab. A12 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro vzorky z reálných dílů z materiálu HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43			
	h [mm]	E <sub>C</sub> [J]	a <sub>CA</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
Vzorek č.	<b>0%</b>			
<b>1</b>	2,23	0,151	8,4	2,9 ± 10%
<b>2</b>	2,27	0,148	9,9	2,9 ± 10%
<b>3</b>	2,18	0,142	8,1	2,9 ± 10%
<b>4</b>	2,25	0,157	8,7	2,9 ± 10%
<b>5</b>	2,25	0,132	7,3	2,9 ± 10%
<b>6</b>	2,19	0,135	7,7	2,9 ± 10%
<b>7</b>	2,17	0,144	8,2	2,9 ± 10%
<b>8</b>	2,14	0,139	8,1	2,9 ± 10%
<b>9</b>	2,24	0,148	8,2	2,9 ± 10%
<b>10</b>	2,21	0,145	8,2	2,9 ± 10%
Průměr		<b>0,144 ± 0,001</b>	<b>8,3 ± 0,6</b>	
Vzorek č.	<b>50%</b>			
<b>1</b>	2,26	0,147	8,13	2,9 ± 10%
<b>2</b>	2,20	0,139	7,89	2,9 ± 10%
<b>3</b>	2,15	0,131	7,61	2,9 ± 10%
<b>4</b>	2,15	0,143	8,31	2,9 ± 10%
<b>5</b>	2,16	0,163	9,43	2,9 ± 10%
<b>6</b>	2,27	0,139	7,65	2,9 ± 10%
<b>7</b>	2,14	0,137	8,00	2,9 ± 10%
<b>8</b>	2,14	0,136	7,94	2,9 ± 10%
<b>9</b>	2,26	0,166	9,18	2,9 ± 10%
<b>10</b>	2,22	0,144	8,10	2,9 ± 10%
Průměr		<b>0,144 ± 0,011</b>	<b>8,2 ± 0,5</b>	
Vzorek č.	<b>100%</b>			
<b>1</b>	2,19	0,166	9,47	2,9 ± 10%
<b>2</b>	2,22	0,329	18,52	2,9 ± 10%
<b>3</b>	2,16	0,297	17,18	2,9 ± 10%
<b>4</b>	2,16	0,175	10,12	2,9 ± 10%
<b>5</b>	2,15	0,178	10,34	2,9 ± 10%
<b>6</b>	2,08	0,183	10,99	2,9 ± 10%
<b>7</b>	2,27	0,225	12,38	2,9 ± 10%
<b>8</b>	2,25	0,389	21,6	2,9 ± 10%
<b>9</b>	2,14	0,266	15,53	2,9 ± 10%
<b>10</b>	2,17	0,240	13,82	2,9 ± 10%
Průměr		<b>0,230 ± 0,067</b>	<b>13,2 ± 3,6</b>	

## Příloha 4: Naměřené dílčí hodnoty zkouškou tvrdosti

Tab. A13 Naměřené hodnoty zkouškou tvrdosti pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM X M2 U43

Vzorek č.	HOSTACOM X M2 U43				
	Shore D/1 [-]				
	0%	20%	50%	70%	100%
<b>1</b>	58,0	61,8	63,7	61,9	61,4
<b>2</b>	60,6	64,9	63,3	63,6	60,9
<b>3</b>	60,3	60,0	60,4	60,6	58,9
<b>4</b>	60,8	65,5	62,0	60,7	60,2
<b>5</b>	64,1	65,2	65,8	64,3	61,1
<b>6</b>	64,4	65,5	65,3	64,5	61,8
<b>7</b>	62,0	62,4	60,6	61,5	61,8
<b>8</b>	64,0	62,4	63,0	61,9	62,2
<b>9</b>	64,3	63,6	65,6	65,4	61,8
<b>10</b>	64,6	63,1	64,6	66,0	61,6
Průměrná hodnota	<b>62,3 ± 2,1</b>	<b>63,4 ± 1,7</b>	<b>63,4 ± 1,8</b>	<b>63,0 ± 1,8</b>	<b>61,1 ± 0,9</b>

Tab. A14 Naměřené hodnoty zkouškou tvrdosti pro vstřikované vzorky z materiálu HOSTACOM PPU 2734 HL25

Vzorek č.	HOSTACOM PPU 2734 HL25				
	Shore D/1 [-]				
	0%	20%	50%	70%	100%
<b>1</b>	62,1	58,1	60,2	61,6	61,5
<b>2</b>	60,4	58,3	62,0	62,0	62,8
<b>3</b>	60,6	59,2	58,0	58,7	59,6
<b>4</b>	59,2	59,1	59,5	59,2	59,7
<b>5</b>	60,1	64,3	60,9	61,1	61,0
<b>6</b>	62,7	59,7	58,4	62,6	61,5
<b>7</b>	64,7	62,2	59,4	57,8	59,7
<b>8</b>	64,3	63,1	61,4	58,3	60,4
<b>9</b>	63,3	63,7	60,6	60,0	59,7
<b>10</b>	61,3	64,8	58,7	62,7	63,5
Průměrná hodnota	<b>61,8 ± 1,7</b>	<b>61,2 ± 2,4</b>	<b>59,9 ± 1,2</b>	<b>60,4 ± 1,7</b>	<b>60,9 ± 1,3</b>

Tab. A15 Naměřené hodnoty zkouškou tvrdosti pro vstřikované vzorky z materiálu DAPLEN EE137HP

Vzorek č.	DAPLEN EE137HP				
	Shore D/1 [-]				
	0%	20%	50%	70%	100%
<b>1</b>	59,3	60,6	61,4	62,9	64,3
<b>2</b>	60,1	60,5	62,0	63,0	64,1
<b>3</b>	63,3	58,7	62,6	61,4	62,9
<b>4</b>	63,4	63,4	62,7	60,8	63,7
<b>5</b>	60,9	60,8	60,8	62,1	63,4
<b>6</b>	62,3	60,1	59,4	63,3	63,8
<b>7</b>	56,6	59,1	60,0	62,4	62,3
<b>8</b>	55,8	57,2	61,3	64,0	63,7
<b>9</b>	62,3	59,4	60,4	64,0	64,1
<b>10</b>	63,6	61,6	61,6	64,0	64,4
Průměrná hodnota	<b>60,7 ± 2,6</b>	<b>60,1 ± 1,6</b>	<b>61,2 ± 1,0</b>	<b>62,7 ± 1,0</b>	<b>63,6 ± 0,6</b>

Tab. A16 Naměřené hodnoty zkouškou tvrdosti pro vzorky z reálných dílů z materiálu HOSTACOM X M2 U43

Vzorek č.	HOSTACOM X M2 U43		
	Shore D/1 [-]		
	0%	50%	100%
<b>1</b>	65,2	66,9	64,7
<b>2</b>	66,4	66,7	64,5
<b>3</b>	64,7	66,7	65,0
<b>4</b>	65,5	66,4	64,9
<b>5</b>	66,4	65,4	65,2
<b>6</b>	65,0	66,4	65,2
<b>7</b>	64,8	64,9	65,5
<b>8</b>	65,4	65,1	65,4
<b>9</b>	64,4	65,9	65,3
<b>10</b>	66,2	66,1	64,9
Průměrná hodnota	<b>65,4 ± 0,6</b>	<b>66,0 ± 0,6</b>	<b>65,0 ± 0,3</b>

## Příloha 5: Naměřené dílčí hodnoty z objemového indexu toku taveniny

Tab. A17 Naměřené hodnoty objemového indexu toku taveniny pro materiál HOSTACOM X M2 U43

	HOSTACOM X M2 U43				
	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T[°C]	m <sub>nom</sub> [kg]
Vzorek č.	0%	50%	100%		
1	14,0	15,1	15,9	230	2,16
2	14,2	15,3	16,0		
3	14,3	15,4	16,3		
4	14,3	15,4	16,3		
5	14,4	15,4	16,2		
6	14,2	15,4	16,4		
7	14,2	15,5	16,4		
8	14,3	15,6	16,5		
9	14,3	15,7	16,5		
10	14,4	15,8	16,6		
Průměrná hodnota	14,3 ± 0,1	15,5 ± 0,1	16,3 ± 0,2		

Tab. A18 Naměřené hodnoty objemového indexu toku taveniny pro materiál HOSTACOM PPU 2734 HL25

	HOSTACOM PPU 2734 HL25				
	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T[°C]	m <sub>nom</sub> [kg]
Vzorek č.	0%	50%	100%		
1	14,5	12,9	14,5	230	2,16
2	14,5	13,0	14,5		
3	14,4	13,2	14,4		
4	14,3	13,2	14,3		
5	14,4	13,2	14,4		
6	14,3	13,1	14,3		
7	14,3	13,3	14,3		
8	14,4	13,3	14,4		
9	14,5	13,5	14,5		
10	14,4	13,5	14,4		
Průměrná hodnota	14,4 ± 0,1	13,2 ± 0,1	14,4 ± 0,1		

Tab. A19 Naměřené hodnoty objemového indexu toku taveniny pro materiál  
DAPLEN EE137HP

	DAPLEN EE137HP				
	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	MVR [cm <sup>3</sup> /10min]	T[°C]	m <sub>nom</sub> [kg]
Vzorek č.	0%	50%	100%		
<b>1</b>	11,5	13,1	13,6	230	2,16
<b>2</b>	11,8	13,2	13,5		
<b>3</b>	11,9	13,2	13,6		
<b>4</b>	12,0	13,3	13,6		
<b>5</b>	12,0	13,3	13,7		
<b>6</b>	11,9	12,9	13,6		
<b>7</b>	12,0	13,1	13,8		
<b>8</b>	11,9	13,3	13,9		
<b>9</b>	12,1	13,4	14,0		
<b>10</b>	12,2	13,5	14,0		
Průměrná hodnota	<b>11,9 ± 0,2</b>	<b>13,2 ± 0,1</b>	<b>13,7 ± 0,2</b>		

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60-školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřeby TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, 28. května 2010

.....

Ondřej Konopáč



## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec, 28. May 2010

.....

Ondřej Konopáč